

Entwicklungspotenzial von Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren in Sedrun und Davos

Master Thesis**Author(s):**

Wölfle, Silvana

Publication date:

2013

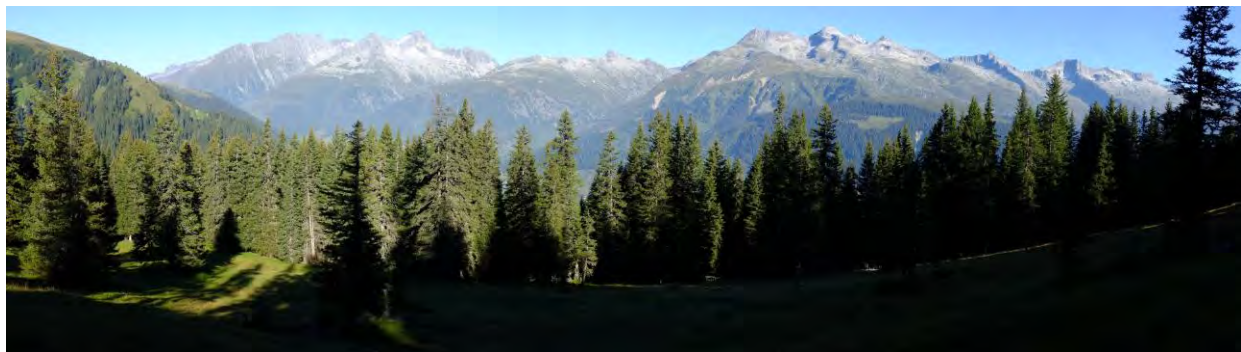
Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009932342>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Entwicklungspotenzial von Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren in Sedrun und Davos



Februar 2013

Silvana Wölfle

Masterarbeit an der
Professur Waldökologie, ETH Zürich

Referent: Prof. Dr. Harald Bugmann, ETH Zürich

Korreferent: Christoph Märki, ETH Zürich

Zusammenfassung

Gebirgswälder stellen der Bevölkerung viele Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung. Es ist ein gesellschaftliches Bedürfnis diese Schutzwälder aufrechtzuerhalten. Für eine langfristige Schutzwirkung ist eine ausreichende Verjüngung unerlässlich. Allerdings sind die Bedingungen für die Verjüngung in Gebirgswäldern besonders schwierig. Ziel dieser Arbeit ist es, mehr über die biotischen und abiotischen Bedingungen für eine erfolgreiche Fichtenverjüngung im Gebirgswald herauszufinden. Cunningham et al. (2006) haben im Rahmen einer Dissertation den Einfluss des Frühlingsklimas auf das Wachstum von Fichtenverjüngung in Gebirgswäldern untersucht. Zehn Jahre nach der Erstaufnahme durch Cunningham et al. (2006) wurde für diese Arbeit eine komplette Folgeaufnahme der damals (zwischen 10 und 130 cm hohen) 640 jungen Fichten (*Picea Abies* (L.) Karst) durchgeführt. Die Untersuchungen fanden in zwei Regionen im Kanton Graubünden, in Davos und Sedrun, auf subalpiner Höhenstufe statt. Insgesamt wurden 336 lebende und 16 tote Bäume wiedergefunden. Die meisten toten Bäume (12) befanden sich an südexponierten Hängen. Die wiedergefundenen lebenden Bäume hatten zwischen 2002 und 2012 einen Höhenzuwachs von durchschnittlich 5.3 cm pro Jahr und einen Kronenvolumenzuwachs von durchschnittlich 27'829 cm³ pro Jahr. Die untersuchten Bäume sind während den letzten zehn Jahren weder linear noch exponentiell gewachsen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich die Bäume in einem Entwicklungsstadium befinden, in welchem sie vermehrt ins Wurzelwachstum investieren. Die Vitalität der Bäume, gemessen am jährlichen relativen Endtriebwachstum, hat über die letzten zehn Jahre zugenommen.

Die Bestände in denen die untersuchten Bäume gewachsen sind, sind in den letzten zehn Jahren dunkler geworden. Die Bäume sind in einem Zeitfenster der Bestandeslücke gewachsen und nun schliesst sich dieses Zeitfenster wieder, was anhand der Lichtmessungen beobachtet werden konnte. 2002 verbissene Bäume konnten ihren erlittenen Höhen- sowie Kronenvolumenzuwachsverlust während den letzten Jahren im Durchschnitt sogar überkompensieren.

Der Befall der Baumkronen mit schwarzem Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) ist an südexponierten Hängen in Sedrun am stärksten. Es stellte sich heraus, dass schwarzer Schneeschimmel für den Höhenzuwachs nicht relevant ist, jedoch für den Kronenvolumenzuwachs. Um den Höhenzuwachs bzw. den Kronenvolumenzuwachs zwischen 2002 und 2012 zu beschreiben, wurden verallgemeinerte lineare gemischte Modelle verwendet. Die wichtigsten Prädiktoren, um den jährlichen Höhenzuwachs zu beschreiben, sind die

Ausgangshöhe der Bäume, die potenzielle Junisonnenscheindauer und die Höhe über Meer. Die wichtigsten Prädiktoren, um den jährlichen Kronenvolumenzuwachs zu erklären, sind die Ausgangshöhe, die potenzielle Junisonnenscheindauer, der prozentuale Befall durch schwarzen Schneeschimmel und die Konkurrenzfreiheit auf halber Höhe des Baumes. Der Korrelationskoeffizient der Pearson-Korrelationen der Zuwachsmodele ist etwas mehr als 0.80.

Schlüsselwörter: Höhenzuwachs, Kronenvolumenzuwachs, Fichtenverjüngung, lineare gemischte Modelle, Davos, Sedrun, Lehrwald, Alpen

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG..... | I |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | IV |
| TABELLENVERZEICHNIS | VI |
| 1. EINLEITUNG..... | 1 |
| 1.1. AUSGANGSLAGE..... | 2 |
| 1.2. LEITFRAGEN | 3 |
| 2. MATERIAL UND METHODEN..... | 4 |
| 2.1. STANDORTE DAVOS UND SEDRUN | 4 |
| 2.2. VISUALISIERUNG DER TRANSEKTPUNKTE | 7 |
| 2.3. FELDMETHODIK | 9 |
| 2.4. MODELLE | 16 |
| 3. RESULTATE..... | 20 |
| 3.1. FELDAUFNAHMEN UND WIEDERFINDUNGSRATE..... | 20 |
| 3.2. MORTALITÄT | 23 |
| 3.3. HÖHEN- UND KRONENVOLUMENZUWACHS | 24 |
| 3.4. VITALITÄT 2002 UND 2012 | 26 |
| 3.5. LICHT | 27 |
| 3.6. VERBISS | 28 |
| 3.7. SCHWARZER SCHNEESCHIMMEL (<i>HERPOTRICHIA JUNIPERI</i>)..... | 30 |
| 3.8. MODELLE | 31 |
| 3.8.1. MODELLE ZUM HÖHENZUWACHS | 33 |
| 3.8.2. MODELLE ZUM KRONENVOLUMENZUWACHS | 36 |
| 4. DISKUSSION | 40 |
| 4.1. WIEDERFINDUNGSRATE | 40 |
| 4.2. FOLGEAUFNAHME IN ZEHN JAHREN | 42 |
| 4.3. MORTALITÄT | 43 |
| 4.4. HÖHEN- UND KRONENVOLUMENZUWACHS | 45 |
| 4.5. VITALITÄT 2002 UND 2012 | 47 |
| 4.6. LICHT | 48 |
| 4.7. VERBISS | 49 |
| 4.8. SCHWARZER SCHNEESCHIMMEL (<i>HERPOTRICHIA JUNIPERI</i>)..... | 52 |
| 4.9. MODELLE ZUM HÖHENZUWACHS..... | 52 |
| 4.10. MODELLE ZUM KRONENVOLUMENZUWACHS..... | 53 |
| 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN | 55 |
| 5.1. AUSBLICK | 56 |
| DANKSAGUNG..... | 58 |
| LITERATURVERZEICHNIS..... | 60 |
| ANHANG..... | 64 |

Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Ausblick vom Transekt SA05 in Sedrun (eigene Darstellung).

| | |
|---|----|
| Abbildung 1 Die Standorte Davos und Sedrun (schwarze Punkte) im Kanton Graubünden (rot). | 5 |
| Abbildung 2 Karte mit Transekten in Davos. | 7 |
| Abbildung 3 Karte mit Transekten in Sedrun. | 8 |
| Abbildung 4 Gian Ehrenzeller beim Suchen mit dem Recco-Detektor in Sedrun (eigene Darstellung). | 10 |
| Abbildung 5 Kleine Verjüngung mit Nummer und Recco-Reflektor (eigene Darstellung). | 11 |
| Abbildung 6 Grosse, starke Verjüngung mit Nummer und Recco-Reflektor (eigene Darstellung). . | 11 |
| Abbildung 7 Schematische Darstellung einer grossräumigen Kuppe (eigene Darstellung). | 12 |
| Abbildung 8 Schematische Darstellung einer grossräumigen Mulde (eigene Darstellung). | 12 |
| Abbildung 9 Schematische Darstellung einer kleinräumigen Kuppe (eigene Darstellung). | 12 |
| Abbildung 10 Schematische Darstellung einer kleinräumigen Mulde (eigene Darstellung). | 12 |
| Abbildung 11 Messung potenzieller Sonnenscheindauer mit einem Sonnenkompass (eigene Darstellung). | 13 |
| Abbildung 12 Veranschaulichung der Messung von Verbiss. Die Knospe, die 2010 gebildet wurde, ist verbissen. (eigene Darstellung). | 14 |
| Abbildung 13 Methode der Messung des hangparallelen Kronenbasisdurchmessers und der Kronenlänge (eigene Darstellung). | 14 |
| Abbildung 14 Methode der Messung des hangsenkrechten Kronenbasisdurchmessers und der Kronenlänge (eigene Darstellung). | 14 |
| Abbildung 15 Veranschaulichung der Methode um die Konkurrenzsituation auf halber Baumhöhe aufzunehmen (eigene Darstellung). | 15 |
| Abbildung 16 Messen der Überschildung mit dem Densitometer (eigene Darstellung). | 15 |
| Abbildung 17 Die log-normalverteilung der Zielvariable „jährlicher Höhenzuwachs“. | 17 |
| Abbildung 18 Die log-normalverteilung der Zielvariable „jährlicher Kronenvolumenzuwachs“. | 17 |
| Abbildung 19 Messungen an einer Fichte während der Feldarbeit in Sedrun (eigene Darstellung). | 20 |
| Abbildung 20 Wiederfindungsrate in Prozent aufgeteilt nach Region und Exposition. | 22 |
| Abbildung 21 Potenzielle Junisonnenschein-dauer aufgeteilt nach lebenden und toten Bäumen... | 23 |
| Abbildung 22 Durchschnittliche Hangneigung der Transektpunkte, an welchen lebende oder tote Bäume gefunden wurden. | 23 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 23 Der jährliche absolute Höhenzuwachs in Abhängigkeit zur Ausgangshöhe der Bäume im Jahr 2002. | 25 |
| Abbildung 24 Durchschnittliches jährliches relatives Endtriebwachstum von 1998 bis 2002 im Vergleich zu 2010 bis 2012. Die Linie dient zur Orientierung ($x=y$). | 26 |
| Abbildung 25 Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012, gemessen mit einem Sonnenkompass, im Vergleich zum direkten Licht im Juni 2002, berechnet anhand von Fischaugenfotos. Die rote Linie entspricht der Korrelation zwischen der potenziellen Junisonnenscheindauer und dem direkten Licht in Brigels. | 28 |
| Abbildung 26 Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 im Vergleich zum direkten Licht im Juni 2012. Die Daten wurden in Brigels aufgenommen. Beide Werte wurden anhand von Fischaugenfotografien berechnet (Stroheker, 2013). | 28 |
| Abbildung 27 Ausgraben einer Nummer mit Recco-Reflektor unter einer ca. 10 cm dicken Streuschicht (eigene Darstellung). | 40 |
| Abbildung 28 Aufsuchen eines Baumes im frischen Holzschlag. Ohne Recco-Reflektor sind solche Bäume nur mit etwas Glück zu finden (eigene Darstellung). | 41 |
| Abbildung 29 Beginnende Überwallung einer Nummer mit Recco-Reflektor (eigene Darstellung) | 47 |
| Abbildung 30 Teilweise überwallter Temperaturmesser (eigene Darstellung). | 47 |
| Abbildung 31 Wildfutterstellen um Davos. | 50 |
| Abbildung 32 Um Sedrun gibt es keine Wildfutterstellen. | 51 |
| Abbildung 33 Trotz ausgereiften Suchmethoden konnten nicht alle Bäume wiedergefunden werden. Simon Knüsel findet eine Nummer am Stamm einer sehr üppigen Fichtenverjüngung (eigene Darstellung). | 56 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 Temperatur und Niederschlagswerte von Davos und Sedrun | 6 |
| Tabelle 2 Anzahl 2002 markierte Bäume (Anzahl ursprüngliche Bäume) und 2012 wiedergefundene Bäume aufgeteilt nach Region und Exposition. | 6 |
| Tabelle 3 Übersicht über die im Feld gemessenen Parameter. Es sind nur Bäume berücksichtigt, die für die Auswertungen benutzt werden (N = 302)..... | 20 |
| Tabelle 4 Übersicht über Parameter, die im Feld gemessen wurden. Es sind nur Bäume berücksichtigt, die für die Auswertungen benutzt werden (N = 302). | 21 |
| Tabelle 5 Wiederfindungsrate aufgeteilt nach Region, Exposition und Höhenklasse. Die Angaben sind in Prozent. In Klammern ist die Anzahl Bäume angegeben. | 22 |
| Tabelle 6 Durchschnittlicher jährlicher Höhen- bzw. Kronenvolumenzuwachs von 2002 bis 2012 (N=302). | 24 |
| Tabelle 7 Durchschnittliche Anzahl Stunden potenzieller Junisonnenscheindauer in Davos und Sedrun an den verschiedenen Expositionen. | 27 |
| Tabelle 8 P-Werte der potenziellen Junisonnenscheindauer von nord- und südexponierten Hängen in Davos im Vergleich zu den vier Expositionen in Sedrun | 27 |
| Tabelle 9 Prozent aller lebenden Bäume, die verbissen wurden, im Vergleich zwischen den Jahren 2011, 2010 und 2009..... | 29 |
| Tabelle 10 P-Werte und prozentualer Befall von schwarzem Schneeschimmel zwischen der Exposition Sedrun Süd und allen anderen Expositionen in Davos und Sedrun. | 30 |
| Tabelle 11 Modellbezeichnungen der Modelle mit Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs (HZW) und jährlicher Kronenvolumenzuwachs (KVZ) mit den enthaltenen Prädiktoren..... | 32 |
| Tabelle 12 Relative Wichtigkeit der Variablen für die Modelle mit der Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006)..... | 34 |
| Tabelle 13 Zusammenfassung der statistischen Kennzahlen der Modelle mit der Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006)..... | 35 |
| Tabelle 14 Relative Wichtigkeit der Variablen für die Modelle mit der Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006)..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 15 Zusammenfassung der statistischen Kennzahlen der Modelle mit der Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006). | 39 |
|---|----|

1. Einleitung

Gebirgswälder stellen der Bevölkerung viele Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung, wie zum Beispiel Holzproduktion, Erholung, Schutz vor Naturgefahren, Regulierung des Wasserhaushaltes etc. (Brändli, 2010). Rund 43% des Schweizer Waldes ist Schutzwald, der die Bevölkerung, ihre Dörfer und Verkehrswege vor Naturgefahren wie zum Beispiel Lawinen und Steinschlag schützt (Duc et al., 2010). Es ist ein gesellschaftliches Bedürfnis, diese Schutzwälder aufrechtzuerhalten (Brang et al., 2001). Für eine langfristige Schutzwirkung ist eine ausreichende Verjüngung unerlässlich. Gemäss dem LFI3 ist die Verjüngung in 36% der Schutzwälder kritisch bis ungenügend (Brändli, 2010). Bestandsaufnahmen sowie Modelle bestätigen den Mangel an Verjüngung in vielen Schutzwäldern (Buchli, 1997; Brändli, 2010; Brang et al., 2001). Vor allem in gleichförmigen Wäldern mit verminderter Bestandesstabilität ist eine unzureichende Verjüngung ein Problem, da der Bestand flächig zusammenbrechen kann und dann die Schutzfunktion ohne Verjüngung nicht mehr gewährleistet ist (Duc et al., 2010). Laut dem LFI3 hat sich die mittelfristige Stabilität der Schutzwälder zwar verbessert (Brändli, 2010), jedoch sind viele Schutzwälder immer noch überaltert und gleichförmig (Duc et al., 2010). Dies macht sie für Schadenereignisse anfällig und stellt die langfristige Schutzfunktion in Frage. Viele dieser überalterten Bestände erreichen bald die Zerfallsphase (Sandri, 1993; Brang, 2003; Schönenberger & Brang, 2004). Wenn in diesen Wäldern keine Verjüngung aufkommt, fehlen in Zukunft die schützenden Bäume.

Allerdings sind die Bedingungen für die Verjüngung in Gebirgswäldern besonders schwierig. In dichten Beständen dringt nur wenig direkte Sonneneinstrahlung bis zum Boden. Dies erschwert das Aufkommen der Fichte (*Picea Abies* (L.) Karst), welche die häufigste Baumart auf subalpiner Höhenstufe darstellt (Brändli, 2010). Gemäss Lüscher (1990), Kreiliger (1992) und Brang (1998) ist die direkte Sonneneinstrahlung einer der wichtigsten Faktoren für das Wachstum der Fichtenverjüngung. Neben der Lichtverfügbarkeit werden Fichtenkeimlinge von verschiedenen weiteren biotischen und abiotischen Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel Länge der Vegetationsperiode, Schneebedeckung, Temperatur, Frost, mechanische Schäden durch Schnee und Eis, Konkurrenz durch Bodenvegetation, Wildverbiss und Befall von schwarzem Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) (Cunningham et al., 2006; Ott et al., 1997).

Zurzeit ist noch wenig darüber bekannt, wie sich waldbauliche Massnahmen und die daraus folgenden Veränderung der lokalen Umweltbedingungen auf die Entwicklung von Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald auswirken. Ziel dieser Arbeit ist es, mehr über die

biotischen und abiotischen Bedingungen für eine erfolgreiche Fichtenverjüngung im Gebirgswald herauszufinden, um daraus in Zukunft Massnahmen für den praktisch orientierten Waldbau ableiten zu können.

1.1. Ausgangslage

Cunningham et al. (2006) haben im Rahmen einer Dissertation den Einfluss des Frühlingsklimas auf das Wachstum von Fichtenverjüngung in Gebirgswäldern untersucht. Die vorliegende Arbeit basiert auf dem ersten Kapitel dieser Dissertation, in der 640 junge Fichten (*Picea Abies*) in zwei Regionen, Davos und Sedrun, untersucht und markiert wurden. Die Feldaufnahmen fanden in den Jahren 2002 bis 2004 statt. Die untersuchten Fichten waren im Jahr 2002 zwischen 10 und 130 cm hoch. Cunningham et al. (2006) haben das Wachstum der Fichten anhand von drei Proxys untersucht; das Endtriebwachstum, das Primärwachstum und das Kronenvolumenwachstum. Dazu wurden verschiedene Parameter zur Beschreibung der Umwelt und der Eigenschaften der Verjüngung aufgenommen. Die 640 Bäume wurden gemäss ihrer Höhe im Jahr 2002 in drei Klassen unterteilt. Höhenklasse A: 10-30 cm, Höhenklasse B: 31-60 cm und Höhenklasse C: 61-130 cm. Mit Hilfe der aufgenommenen Daten wurden Wachstumsmodelle, einerseits für alle 640 Bäume und andererseits separat für die verschiedenen Höhenklassen, erstellt. Das Hauptziel der Arbeit von Cunningham et al. (2006) war es, die relative Wichtigkeit der erhobenen abiotischen und biotischen Faktoren für das Wachstum von Fichtenverjüngung in subalpinen Gebirgswäldern zu quantifizieren. Der Fokus lag dabei auf dem Einfluss des Frühlingsklimas. Zusätzlich wurde untersucht, wie sich die gemessenen Parameter in ihrer Wichtigkeit zwischen den drei Höhenklassen unterscheiden und wie sich die Güte und Robustheit der Wachstumsmodelle unterscheiden. Es zeigte sich, dass die Ausgangshöhe der Verjüngung, der Ausaperungszeitpunkt, die Strahlungsverfügbarkeit (gemessen als Leaf Area Index (LAI)) und die Höhe über Meer die wichtigsten Variablen waren, um das Kronenvolumenwachstum zu erklären. Für das Höhenwachstum und das Primärwachstum war zusätzlich zu den genannten Variablen auch der Befall von schwarzem Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) wichtig. Mit diesen Wachstumsmodellen konnten 35% der Varianz des Höhenwachstums, 44% der Varianz des Primärwachstums und 80% der Varianz des Kronenvolumenwachstums erklärt werden. Das Wachstum der Verjüngung der Höhenklasse A (A-Bäume) war vor allem von der Strahlungsverfügbarkeit und vom Ausaperungszeitpunkt abhängig. Das Wachstum der Verjüngung der Höhenklasse B (B-Bäume) wurde stärker durch schwarzen Schneeschimmel beeinflusst als dasjenige der anderen Höhenklassen. Das Wachstum der Verjüngung der Höhenklasse C (C-Bäume) war hauptsächlich abhängig von der Verfügbarkeit von direktem Licht, dem

Ausaperungszeitpunkt und der Exposition.

1.2. Leitfragen

Ziel dieser Arbeit ist es, Aussagen über geeignete Standorte und Bedingungen machen zu können, an denen Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald erfolgreich aufkommen kann. Dafür wurden folgende Leitfragen genauer untersucht:

- 1) Kann mit den gemessenen Daten die Mortalität der Bäume erklärt werden?
- 2) Wie gut kann mit den im Jahr 2002 und 2012 gemessenen Umweltbedingungen der Höhenzuwachs bzw. der Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung von 2002 bis 2012 erklärt werden?
- 3) Wie wird das Wachstum der untersuchten Bäume zwischen 2002 und 2012 durch die Faktoren Ausgangshöhe, Lichtverfügbarkeit, Schneeschimmelbefall, Exposition, Hangneigung, Höhe über Meer, Mikrotopografie, Substrat, Konkurrenz, Verbiss und Überschildung beeinflusst?
- 4) Wie hat sich die Vitalität der untersuchten Bäume in den letzten zehn Jahren verändert?

2. Material und Methoden

Zur Beantwortung der Leitfragen wurde zehn Jahre nach der Erstaufnahme durch Cunningham et al. (2006) eine komplette Folgeaufnahme der 640 Bäume durchgeführt. Dabei wurden dieselben Parameter wie in den Jahren 2002 und 2003 aufgenommen. Zusätzlich wurde die Mikrotopografie erfasst, d.h. ob der Baum in einer Mulde, auf einer Kuppe oder in der Ebene steht. Im Gegensatz zur Arbeit von Cunningham et al. (2006) wurden die Lichtverhältnisse nicht mit Hilfe von Fischaugenfotografien, sondern mit Hilfe eines Sonnenkompasses aufgenommen.

In der vorliegenden Arbeit wird das Wachstum einerseits als Höhenzuwachs und andererseits als Kronenvolumenzuwachs definiert. Anders als in der Dissertation von Cunningham et al. (2006) wird hier auf die dritte Definition von Wachstum, das Primärwachstum, verzichtet. Der Grund dafür liegt darin, dass im Gegensatz zum Höhenwachstum das Primärwachstum kaum in Studien verwendet wird und keine einheitliche Messmethode existiert. Der Höhenzuwachs von Bäumen ist hingegen einfach und relativ genau messbar und kann zudem als Indikator für die Vitalität verwendet werden (Dobbertin, 2005). Wie das Primärwachstum wird auch das Kronenvolumenwachstum kaum in anderen Studien verwendet, allerdings konnten die Daten von Cunningham et al. (2006) die Varianz des Kronenvolumenwachstums der Fichtenverjüngung am besten erklären. Aus diesen Gründen wird in vorliegender Arbeit das Primärwachstum nicht verwendet und nur der Höhen- und Kronenvolumenzuwachs untersucht.

2.1. Standorte Davos und Sedrun

Cunningham et al. (2006) haben die beiden Regionen Davos und Sedrun ausgewählt, um regionsspezifische Ausprägungen zu verringern (für die Standorte, siehe Abbildung 1).

Karte der Schweiz mit den Standorten Davos und Sedrun



Impressum: Silvana Wölfle, 2013

Quelle: Aus <http://www.apgmontagne.ch/de/angebot/abdeckung/raubunden/>, Stand: 15.02.2013, verändert.

Abbildung 1 Die Standorte Davos und Sedrun (schwarze Punkte) im Kanton Graubünden (rot).

Sedrun und Davos liegen beide im Kanton Graubünden. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass in Sedrun die mittleren Temperaturen höher und die mittleren Winterniederschläge etwas grösser sind als in Davos. Gemäss Ott et al. (1997) ist das Klima in Davos etwas kontinentaler als in Sedrun. Trotzdem ist das Klima in Davos und Sedrun insgesamt vergleichbar (Cunningham et al., 2006).

Tabelle 1 Temperatur und Niederschlagswerte von Davos und Sedrun.

| Region | Messstation der Meteo Schweiz | Höhe über Meer [m] | Sommer- temperatur [°C] | Winter- temperatur [°C] | Jahresmittel- temperatur [°C] | Sommer- niederschlag [mm/d] | Winter- niederschlag [mm/d] | Jahresmittel- niederschlag [mm/d] |
|--------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Davos | Davos | 1594 | 8.9 | -2.0 | 3.5 | 3.6 | 2.1 | 1022 |
| | Weissfluhjoch | 2690 | 2.6 | -6.4 | -1.9 | 4.7 | 3.1 | 1411 |
| Sedrun | Disentis/Sedrun | 1197 | 11.9 | 1.3 | 6.7 | 3.6 | 2.5 | 1101 |
| | Gütsch ob Andermatt | 2287 | 5.0 | -4.2 | 0.4 | 4.1 | 4.0 | 1453 |

Sommer (15. April - 15. Oktober) und Winter (16. Oktober - 14. April) Temperaturen und Niederschlag sind Mittelwerte der Monate. Die Temperatur wurde 2m über Boden gemessen.

Quelle: Meteo Schweiz, Klimanormwerte der Normperiode 1981 - 2010.

In beiden Regionen herrscht kristallines Gestein vor (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2000). Gemäss der Vegetationskartierung des Kantons Graubünden gehören nahezu alle Transektpunkte dem Standortstyp 57C (Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras) an (Kantonale Verwaltung Graubünden, 2013; Frehner et al., 2005). In beiden Regionen herrscht geschlossener Wald mit eingestreuten Lücken vor (Cunningham et al., 2006).

In beiden Regionen haben Cunningham et al. (2006) jeweils vier Gebiete (je 3 km²) ausgewählt, mit dem Ziel den Gradienten des lokalen Klimas zu maximieren. In jedem dieser Gebiete wurden zehn Punkte zufällig ausgewählt. Durch jeden dieser Punkte wurde ein Transekt entlang der Falllinie gelegt, der von 1570 m.ü.M bis zur Baumgrenze verläuft. Alle 50 m entlang der Transekte wurde ein Punktzentrum markiert. Die Bäume wurden im Umkreis von zehn Metern um das Punktzentrum ausgewählt. Bei jedem Transektpunkt wurden zwischen null und fünf Bäume ausgewählt. In Tabelle 2 **Error! Reference source not found.** ist ersichtlich, um wie viele Bäume es sich in der vorliegenden Arbeit handelt und wo sich diese bezüglich Exposition und Höhe über Meer befinden.

Tabelle 2 Anzahl 2002 markierte Bäume (Anzahl ursprüngliche Bäume) und 2012 wiedergefundene Bäume aufgeteilt nach Region und Exposition.

| Region | Exposition | Höhe über Meer [m] | Anzahl Punkte | Anzahl ursprünglicher Bäume | Anzahl wieder- gefundener Bäume* |
|--------|------------|-----------------------|------------------|-----------------------------------|--|
| Davos | Ost | 1630-2040 | 27 | 82 | 39 |
| | Nord | 1620-2020 | 39 | 79 | 58 |
| | Süd | 1680-2050 | 33 | 80 | 56 |
| | West | 1690-1945 | 22 | 80 | 40 |
| Sedrun | Ost | 1620-1910 | 27 | 75 | 36 |
| | Nord | 1570-1920 | 38 | 83 | 36 |
| | Süd | 1600-1975 | 28 | 77 | 51 |
| | West | 1635-2050 | 27 | 78 | 36 |
| Total | | 1570-2050 | 241 | 634 | 352 |

*wiedergefundene tote (16) und lebende (336) Bäume

2.2. Visualisierung der Transektpunkte

Die 640 gesuchten Bäume befinden sich in der subalpinen Höhenstufe an 218 Transektpunkten, verteilt auf 40 verschiedene Transekte. Die Transekte verlaufen entlang der Falllinie von 1570 m.ü.M bis zur Baumgrenze auf 2070 m.ü.M. Dabei sind die Transekte jeweils in beiden Regionen nach den vier Hauptexpositionen, Nord, Ost, Süd und West ausgerichtet. In Abbildung 2 sind die Transekte in Davos und in Abbildung 3 die Transekte in Sedrun abgebildet.

Transekte in Davos

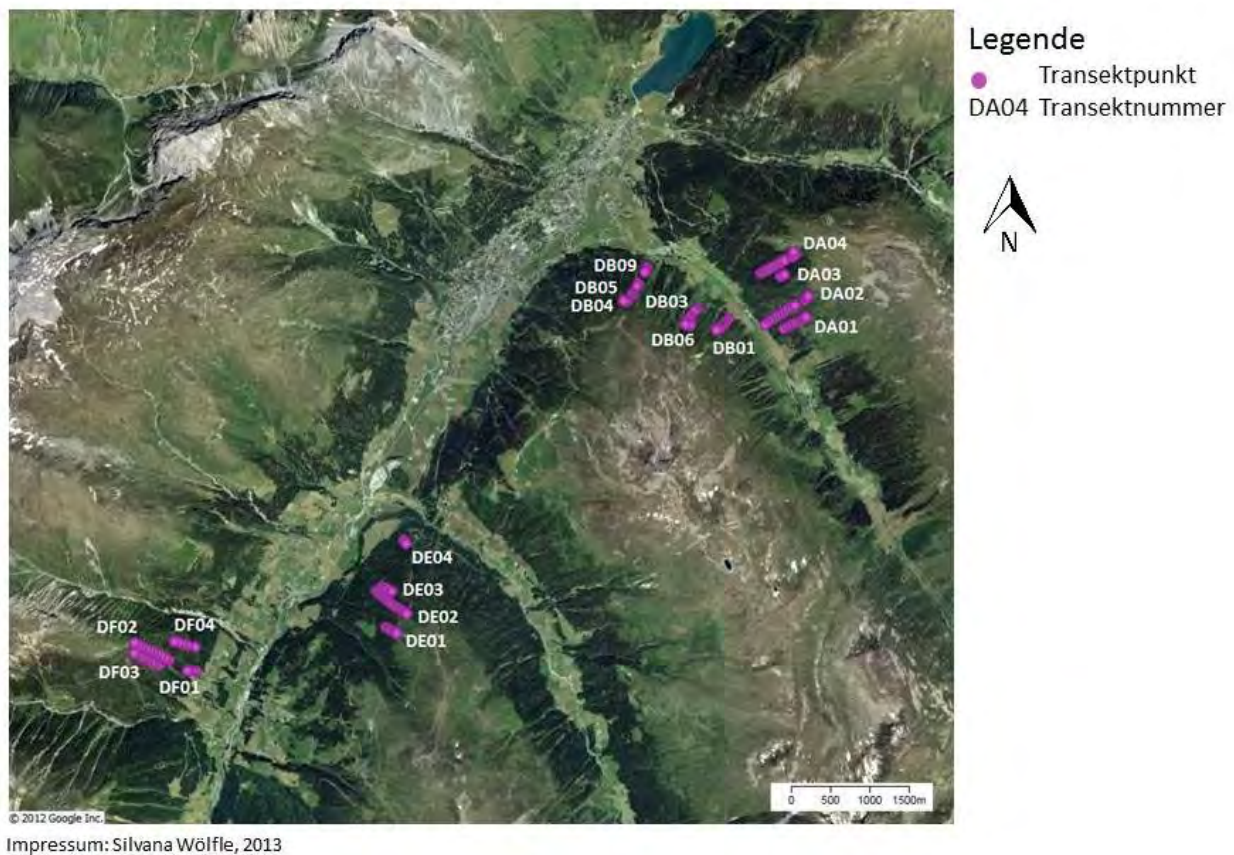


Abbildung 2 Karte mit Transekten in Davos¹.

¹ Quelle: Google Earth 2012 (6.2.2.6613). Stand: 13.02.2013.

Transekte in Sedrun

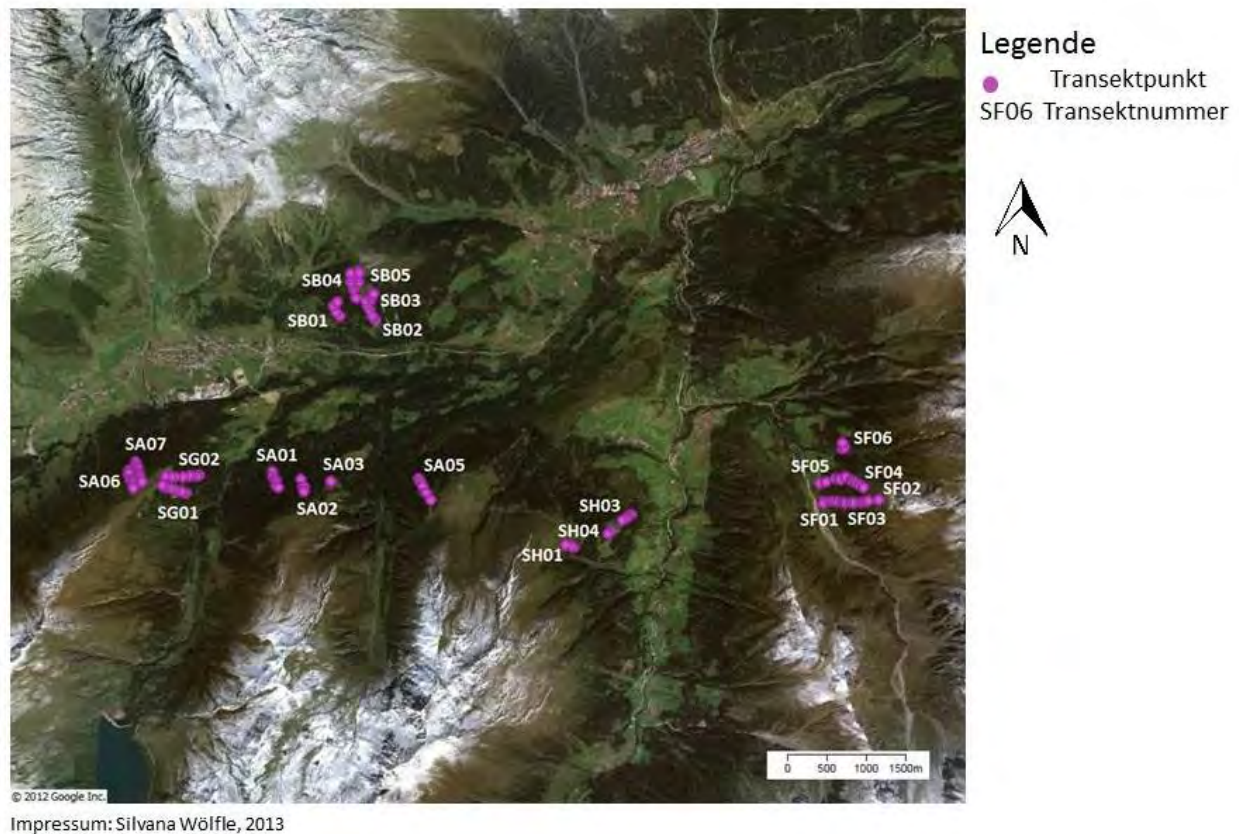


Abbildung 3 Karte mit Transekten in Sedrun².

Zur Visualisierung der Transekte und der einzelnen Transektpunkte, sowie für die Übersicht im Feld, wurden die Schweizer Koordinaten aus den Daten von Cunningham et al. (2006) übernommen und per KML-Files in GoogleEarth auf die Schweizer Landeskarte übertragen. Die Luftbildausschnitte basieren auf Satellitenbildern vom 10.04.2009. Nach der Feldaufnahme wurden die Luftbildausschnitte mit weiteren Informationen ergänzt, um ersichtlich zu machen, welche Transektpunkte wiedergefunden wurden und welche mit einem Recco-Reflektor ausgestattet waren. Die Luftbildausschnitte sind im Anhang A 1 und A 2 ersichtlich.

² Quelle: Google Earth 2012 (6.2.2.6613). Stand: 13.02.2013.

2.3. Feldmethodik

Die Anreise zu den Transekten wurde soweit wie möglich mit dem Fahrrad zurückgelegt. Dies dauerte im Durchschnitt etwa eine Stunde. Die Transekte, die weit von Sedrun entfernt lagen (SF01 bis SF06 und SH01 bis SH04), wurden mit einem Motorfahrzeug erreicht. Die Transekte DE01 bis DE04 wurden mit der Rinerhornbahn und kurzem Fussmarsch erreicht. Um zu den Transekten DF02 und DF04 zu gelangen, wurde die Rhätische Bahn bis Davos-Glaris benutzt und anschliessend dem Wanderweg folgend bis zur Baumgrenze gewandert. Meist wurden dieselben Routen gewählt, die Cunningham vor zehn Jahren gewählt hatte. Ihre zusätzlichen Notizen zu den einzelnen Transektpunkten waren jedoch häufig nur wenig hilfreich, da die Transektpunkte zu allgemein und wenig detailliert bis gar nicht beschrieben wurden. Für eine eventuelle Folgeuntersuchung wurden deshalb Skizzen der Transekte angefertigt, um die Orientierung im Gelände zu vereinfachen. Die Skizzen sind im Anhang A 3 ersichtlich.

Der erste Transektpunkt wurde jeweils zuerst mit Hilfe von Landeskarten grob geortet und später mittels GPS genauer angepeilt. Dafür wurde ein GPS der Marke Garmin (eTrex, Summit, Software 2000-2002) verwendet. Die Genauigkeit des GPS lag meist zwischen sechs und 42 m. Neue Koordinatenangaben wurden nur aufgenommen, wenn die GPS-Genauigkeit unter 15 m lag. Sobald das Zentrum gemäss GPS erreicht war, wurde mit Hilfe des Recco-Detektors das Standortsrecco gesucht, das meist im Zentrum des Transektpunktes angebracht war. An manchen Transektpunkten waren auch einzelne Bäume mit einem Recco-Reflektor ausgestattet. Der Recco-Detektor wurde freundlicherweise von den Bergbahnen Sedrun (Leiter der technischen Dienste, Toni Cathomas, Adresse im Anhang A 10) zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um den Recco-Detector 8 mit der Seriennummer 8279-868. Der Recco-Detektor sendet Wellen aus, die von den Recco-Reflektoren reflektiert werden und über Kopfhörer akustisch wahrgenommen werden können. Die Lautstärke der Signale variiert mit dem Abstand des Recco-Reflektors. Allerdings reflektieren nicht nur die Recco-Reflektoren, sondern ebenso das Verbindungskabel vom Detektor zum Kopfhörer, alle elektronischen Geräte, sowie Felsvorsprünge (vermutlich aufgrund metallische Einlagerungen). Mit ein wenig Übung können die unterschiedlichen reflektierten Signale jedoch gut unterschieden werden. Abbildung 4 dient zur Veranschaulichung des Recco-Detektors.



Abbildung 4 Gian Ehrenzeller beim Suchen mit dem Recco-Detektor in Sedrun (eigene Darstellung).

Alte Recco-Reflektoren wurden wenn nötig ersetzt. Bäume, die schwierig zu finden waren, wurden zusätzlich mit einem Recco-Reflektor ausgestattet, falls dies noch nicht der Fall war. Die Recco-Reflektoren wurden so ergänzt, dass neu mindestens ein Recco-Reflektor pro Transektpunkt vorhanden ist. Die losen Recco-Reflektoren, die für die Erneuerung mitgetragen wurden, wurden in einer Aluminiumdose aufbewahrt, um sie von den Strahlen des Detektors zu isolieren. Die Reichweite des Recco-Detektors ist erfahrungsgemäss sehr variabel und von verschiedenen Bedingungen abhängig, wie beispielsweise der Witterung, Störfaktoren wie Blockschutt oder Felsen, Geländeformen (durch Erderhebungen werden keine Wellen transmittiert) sowie Bodenschichten oder Nadelstreu, die den Recco-Reflektor bedecken. Bei guter Witterung lag die Reichweite des Recco-Detektors bei ca. 20 bis 30 m.

Die Orientierung von Punkt zu Punkt erfolgte wiederum mit dem GPS für die Grobortung und dem Recco-Detektor für die Feinortung der Reflektoren. Wurde ein erster Recco-Reflektor gefunden, so wurden im Umkreis von mindestens 20 m alle infrage kommenden Bäume (zehn Zentimeter bis fünf Meter hoch) nach Nummern abgesucht. Zudem wurde nach weiteren Recco-Signalen gesucht. Die Nummer der Bäume wurde kontrolliert und wenn nötig eine neue befestigt. Alle Nummern wurden am Hauptstamm, möglichst auf Sichthöhe, mit weissen Kabelbindern befestigt. Die Kabelbinder wurden genug locker befestigt, dass die Bäume weiterwachsen können, ohne dass die Nummern abfallen (z.B. beim nächsten Schneegleiten). An jedem Transektpunkt, an dem lebende Bäume gefunden wurden, wurde mindestens ein Recco-Reflektor befestigt. Sowohl an grosser, starker Verjüngung (siehe Abbildung 6), da diese eher überleben wird, als auch an sehr kleiner

Verjüngung (siehe Abbildung 5), um das Finden der Bäume für eine eventuelle Nachfolgeaufnahme zu erleichtern.



Abbildung 6 Grosse, starke Verjüngung mit Nummer und Recco-Reflektor (eigene Darstellung).



Abbildung 5 Kleine Verjüngung mit Nummer und Recco-Reflektor (eigene Darstellung).

Der gesamte Aufenthalt an einem Transektpunkt dauerte zwischen einer halben Stunde und zwei Stunden, abhängig davon wie schnell die Bäume gefunden wurden. War ein Recco-Reflektor an den Bäumen angebracht, konnten die Bäume innert wenigen Minuten gefunden werden. Ohne Recco-Reflektor konnte die Suche bis zu einer Stunde dauern. Für das Vermessen der Bäume wurden etwa zehn Minuten pro Baum benötigt.

An jedem Transektpunkt wurde der Zustand der markierten Bäume erhoben (lebend, tot, nicht gefunden, nur die lose Nummer ohne den dazugehörigen Baum gefunden). Die Bäume wurden als lebend klassiert, solange grüne Nadeln vorhanden waren. Weiter wurde die gross- und kleinräumige mikrotopografische Lage (Mulde, Kuppe oder Ebene) erhoben. Als grossräumige Mulde bzw. Kuppe gilt eine Senkung bzw. Erhebung quer zum Hang, die sich über zehn Meter erstreckt und eineinhalb Meter tief bzw. hoch ist (siehe Abbildung 8 & Abbildung 7). Eine kleinräumige Mulde bzw. Kuppe erstreckt sich über drei Meter und ist um einen halben Meter gesenkt bzw. erhöht (siehe Abbildung 10 & Abbildung 9).

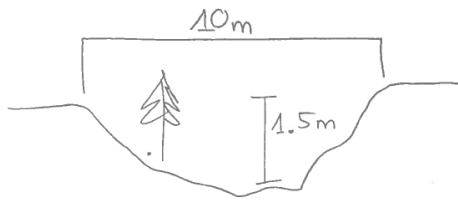


Abbildung 8 Schematische Darstellung einer grossräumigen Mulde (eigene Darstellung).

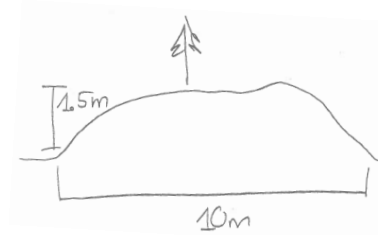


Abbildung 7 Schematische Darstellung einer grossräumigen Kuppe (eigene Darstellung).



Abbildung 10 Schematische Darstellung einer kleinräumigen Mulde (eigene Darstellung).

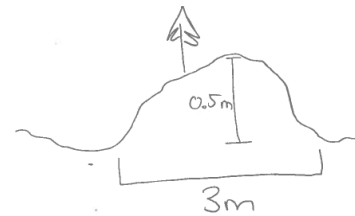


Abbildung 9 Schematische Darstellung einer kleinräumigen Kuppe (eigene Darstellung).

Zudem wurden das Substrat (Boden mit Vegetation, Moderholz oder Mineralboden) sowie das Vorhandensein von Moderholz in einem Umkreis von drei Metern erfasst. Falls Moderholz vorhanden war, wurde die kürzeste Distanz vom Stammansatz des Baums bis zum Moderholz auf zehn Zentimeter genau gemessen. Zusätzlich wurde erfasst, ob das Moderholz steht oder liegt, ob es sich um einen Wurzelteller, einen Stamm oder einen Stock handelt und wo es sich relativ zum Baum befindet (hangaufwärts, -abwärts oder -parallel zum Baum oder ob sich der Baum direkt auf dem Moderholz befindet). Die potenzielle Sonnenscheindauer³ von April, Mai und Juni wurden mit dem Sonnenkompass (siehe Abbildung 11) auf eine halbe Stunde genau gemessen.

³ Anzahl Stunden mit direkter Sonnenbestrahlung pro Tag und Monat, die ein Standort ohne Bewölkung erreichen könnte.



Abbildung 11 Messung potenzieller Sonnenscheindauer mit einem Sonnenkompass (eigene Darstellung).

Die Lichtverhältnisse, in denen die Bäume aufwachsen, wurden 2002 und 2012 mit unterschiedlichen Methoden gemessen und berechnet. Im Jahr 2002 wurde das direkte Licht anhand von Fischaugenfotografien, welche Cunningham et al. (2006) aufgenommen haben, mit dem Programm *SideLook* berechnet, und im Jahr 2012 wurde die potenzielle Junisonnenscheindauer mit einem Sonnenkompass gemessen. Um eine Aussage über die Veränderung der Lichtverhältnisse machen zu können, muss gewährleistet sein, dass die beiden Parameter vergleichbar sind. Die Übereinstimmung der beiden Parameter, potenzielle Junisonnenscheindauer und direktes Licht im Juni, wurde mit Hilfe von Daten aus Stroheker (2013) untersucht. Stroheker (2013) hat die potenzielle Junisonnenscheindauer und das direkte Licht im Juni anhand von Fischaugenfotografien gemessen und mit dem Programm *SideLook* ausgewertet. Die Fotos wurden 2012 im Naturwaldreservat Scatlè bei Brigels in Graubünden aufgenommen.

Die Endtrieblänge der Jahre 2009, 2010 und 2011 wurden mit einem Doppelmeter auf einen Zentimeter genau gemessen. Wenn weder eine Spitze noch ein klarer Endtrieb vorhanden waren, sondern mehrere gleich starke sich aufrichtende Seitentriebe, wurde der Durchschnitt der Seitentriebe gemessen. War die Spitze jedoch abgestorben oder abgebrochen und kein offensichtlicher Endtrieb mehr vorhanden, wurden keine Angaben über die Endtrieblänge gemacht.

Der Verbiss des Haupttriebs wurde dort gemessen, wo die Knospe bzw. der Trieb, welche im entsprechenden Jahr gebildet wurde, verbissen wurde. Anhand von Abbildung 12 wird die Methode zur Verbissmessung besser ersichtlich. Verbiss im Jahr 2010 bedeutet, dass entweder die Knospe, die der Baum am Ende der Vegetationsperiode im Jahr 2010 gebildet hatte, oder der im

Jahr 2010 gebildete Trieb verbissen wurde. Um die Stärke des Verbisses besser abschätzen zu können, wurde ein neuer Faktor eingeführt. Dieser Faktor gibt an wie oft der Baum in den drei gemessenen Jahren (2009, 2010 und 2011) verbissen wurde (0, 1, 2 oder 3-mal).



Abbildung 12 Veranschaulichung der Messung von Verbiss. Die Knospe, die 2010 gebildet wurde, ist verbissen. (eigene Darstellung).

Des Weiteren wurde das Kronenvolumen aufgenommen. Hierfür wurden der hangparallele und der hangsenkrechte Kronenbasisdurchmesser (waagrecht gemessen) sowie die Kronenlänge (von der Spitze senkrecht bis zu den untersten grünen Nadeln) mit einem Doppelmeter auf einen Zentimeter genau gemessen (siehe Abbildung 13 & Abbildung 14).



Abbildung 14 Methode der Messung des hangsenkrechten Kronenbasisdurchmessers und der Kronenlänge (eigene Darstellung).

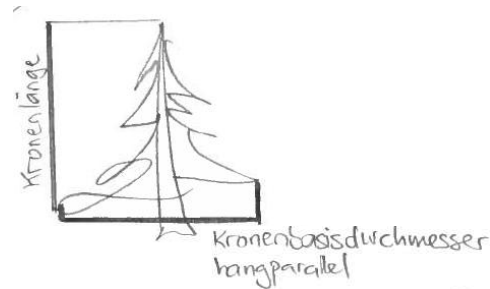


Abbildung 13 Methode der Messung des hangparallelen Kronenbasisdurchmessers und der Kronenlänge (eigene Darstellung).

Die Gesamthöhe (senkrecht vom Stammansatz bis und mit Endtrieb 2012) und die Stammlänge (vom Stammansatz bis und mit Endtrieb 2012) wurden mit einem Doppelmeter oder einem Messband auf einen Zentimeter genau gemessen. Der prozentuale Befall der Krone von schwarzem

Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) wurde auf fünf Prozent genau geschätzt. War ein Baum nur minimal befallen, aber offensichtlich infiziert, wurde er der Kategorie fünf Prozent zugeschrieben.

Die Konkurrenzsituation wurde auf halber sowie auf ganzer Baumhöhe erfasst. Dazu wurde im Umkreis von einem Meter der prozentuale Anteil von „keine Konkurrenz“, „Grasschicht“, „Krautschicht“, „Strauchschicht“ und „andere Verjüngung“ auf fünf Prozent genau geschätzt. Der Umkreis wurde mit Hilfe des Doppelmeters gemessen. Abbildung 15 veranschaulicht die Methode für die Konkurrenzmessung auf halber Baumhöhe.

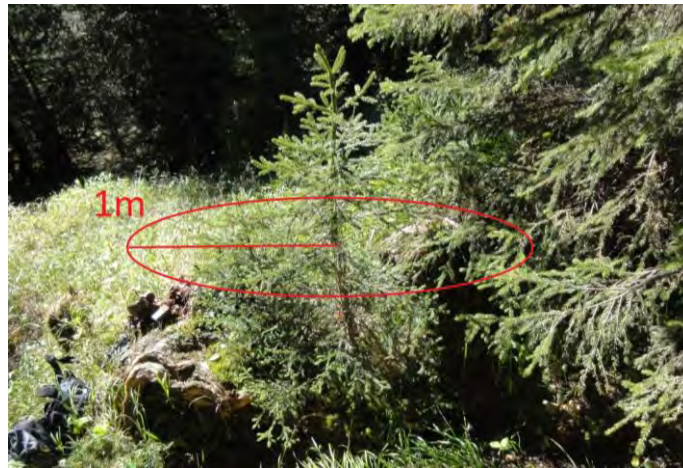


Abbildung 15 Veranschaulichung der Methode um die Konkurrenzsituation auf halber Baumhöhe aufzunehmen (eigene Darstellung).

Mit dem Densitometer wurde die Überschirmung über der Baumspitze gemessen (siehe Abbildung 16). Die Bäume wurden in zwei Kategorien, „überschirmt“ oder „nicht überschirmt“, eingeteilt, was eine Aussage über deren Niederschlagsverfügbarkeit ermöglicht.



Abbildung 16 Messen der Überschirmung mit dem Densitometer (eigene Darstellung).

Bei Bäumen ab 130 cm Höhe wurde der BHD (Brusthöhendurchmesser) mit einem BHD-Messband auf einen halben Zentimeter genau gemessen. Bäume mit einem BHD von unter einem Zentimeter wurden aufgerundet. Auffälliges wie Gallen, Schälens/Fegen und Verletzungen wurde notiert. Bemerkungen zum Transketpunkt, wie zum Beispiel „im Holzschlag“, „ohne Recco“ oder „beweidet“, wurden festgehalten. Zum Aufnahmeprotokoll gehörten zusätzliche Informationen wie Datum, Wetter und beteiligte Personen bei der Aufnahme. Diese Informationen wurden verwendet um herauszufinden, ob das Wetter oder die bei den Aufnahmen beteiligten Personen die Anzahl wiedergefundener Bäume beeinflussen. Ein Beispiel eines Aufnahmeprotokolls ist im Anhang A 4 ersichtlich.

Die Transekt- und Transektpunktbezeichnungen sowie die Nummern der Bäume wurden von Cunningham et al. (2006) übernommen. Ebenfalls übernommen wurden die Daten der Exposition (Nord, Ost, Süd, West), der Höhe über Meer (in Meter) und der Hangneigung (in Grad). Der jährliche absolute Höhenzuwachs sowie der jährliche relative Höhenzuwachs wurden mit Hilfe der Stammlängen der beiden Jahre 2002 und 2012 berechnet. Das Kronenvolumen wurde wie folgt berechnet:

$$V = \frac{1}{3} * \pi * \left(\frac{D_1 + D_2}{4} \right)^2 * H$$

wobei V = Kronenvolumen; D_1 = Kronenbasisdurchmesser hangparallel; D_2 = Kronenbasisdurchmesser hangsenkrecht; H = Kronenlänge.

Der Kronenvolumenzuwachs entspricht der Differenz zwischen dem Kronenvolumen im Jahr 2002 und dem Kronenvolumen im Jahr 2012.

2.4. Modelle

Der Datensatz für die Modellierung enthält 302 der 336 lebend gefundenen Bäume. Die Daten von 34 Bäumen wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Entweder fehlten Daten von 2002 (z.B. Höhe, Kronenvolumen, Verbiss oder direktes Licht) oder die Bäume wiesen einen negativen Höhen- oder Kronenvolumenzuwachs auf. Die wenigen negativen Höhenzuwächse sind wahrscheinlich aus messtechnischen Gründen zustande gekommen. Eine Abnahme des Kronenvolumens über die letzten zehn Jahre ist durchaus plausibel, jedoch sind negative Werte der Zielvariablen für die Modellierung unbrauchbar, da die Zielvariablen logtransformiert wurden und dies nur mit positiven Werten möglich ist. Die beiden Zielvariablen jährlicher Höhenzuwachs und jährlicher Kronenvolumenzuwachs wurden log-transformiert, sodass sie log-normalverteilt sind (siehe Abbildung 17 & Abbildung 18) (Limpert et al., 2001).

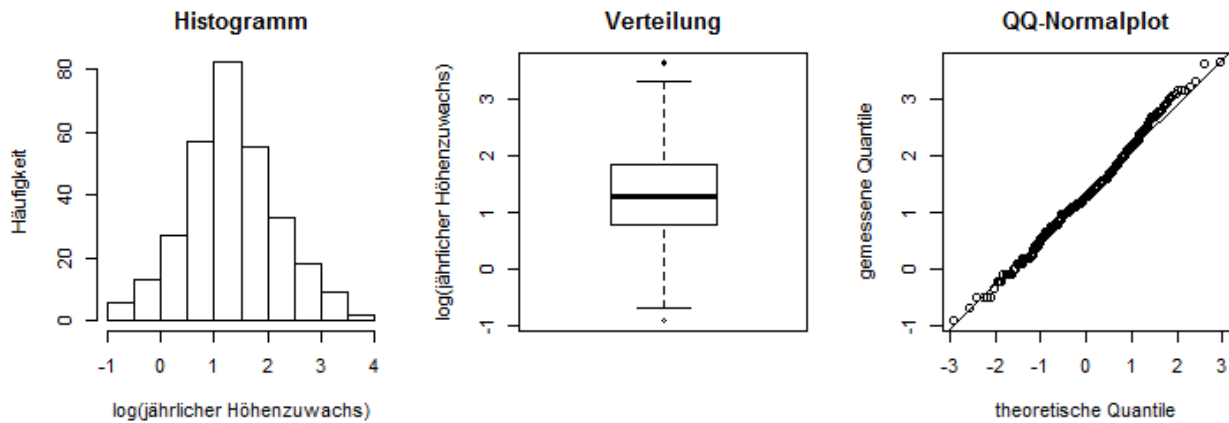


Abbildung 17 Die log-Normalverteilung der Zielvariable „jährlicher Höhenzuwachs“.

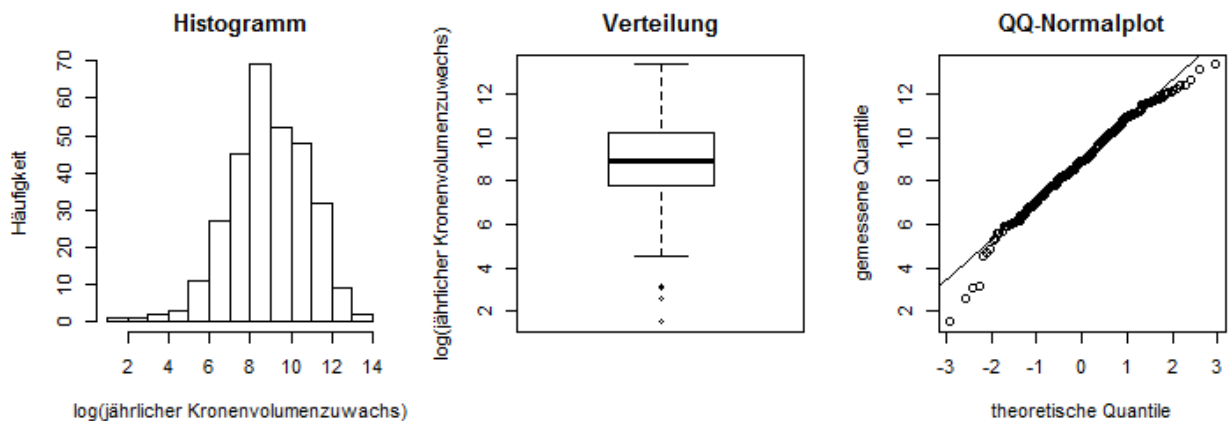


Abbildung 18 Die log-Normalverteilung der Zielvariable „jährlicher Kronenvolumenzuwachs“.

Für die Modellierung wurden nur Faktoren verwendet, die genügend gut verteilt sind, d.h. wo in jedem Parameter mindestens zehn Beobachtungen vorhanden sind (Harrell, 2001). Die Verteilungen der Parameter, die fürs Modellieren verwendet wurden, sind im Anhang A 5 ersichtlich. Die Variable Exposition wurde als Faktor mit vier Parametern (Ost, Nord, Süd und West) behandelt. Die Überschildung, der Verbiss und die Region (Davos bzw. Sedrun) wurden als Faktoren mit jeweils zwei Parametern behandelt.

Für das Erstellen der Modelle wurden die Korrelationen zwischen den erklärenden Variablen berücksichtigt. Bei Variablen, die stark miteinander korrelieren (>0.5) (Dormann et al., 2012), wurde nur die wichtigere der beiden Variablen als Prädiktor in einem Modell verwendet⁴. Eine Tabelle mit Korrelationswerten ist im Anhang A 6 ersichtlich.

⁴ Die Ausgangshöhe im Jahr 2002 korreliert mit der Überschildung im Jahr 2002, die potenzielle Junisonnenscheindauer mit dem direkten Licht und die verschiedenen Parameter für Konkurrenz untereinander, sowohl im Jahr 2012 als auch im Jahr 2002. Für die Modellbildung wurde die Ausgangshöhe als wichtiger erachtet. Die potenzielle Sonnenscheindauer und das direkte Licht wurden nur in unterschiedlichen Modellen verwendet. Die Konkurrenzsituation wurde als Konkurrenzfreiheit im Jahr 2002 und 2012 ausgedrückt und nur in unterschiedlichen Modellen verwendet.

Für die Modellierung wurden folgende Prädiktoren verwendet: Ausgangshöhe, potenzielle Sonnenscheindauer 2012, direktes Licht 2002, Verbiss 2002 und 2011, Schneeschimmel 2002 und 2012, Höhe über Meer, Hangneigung, Exposition, Region, Transektpunkt, Überschirmung und Konkurrenzfreiheit. Die kleinräumige Mikrotopografie und das Substrat konnten für die Modellierung nicht berücksichtigt werden, da ihre Parameter ungenügend verteilt waren. Die Überschirmung im Jahr 2002 konnte in den Modellen ebenfalls nicht berücksichtigt werden, da die Überschirmung 2002 stark mit der Ausgangshöhe der Bäume korreliert.

Um den Höhenzuwachs bzw. den Kronenvolumenzuwachs zu beschreiben, wurden verallgemeinerte lineare gemischte Modelle verwendet. Diese berücksichtigen den zufälligen Effekt, dass die Verjüngung innerhalb desselben Transektpunktes ähnlicher ist als die Verjüngung verschiedener Transektpunkte. Dabei wurde der Transektpunkt als zufälliger Effekt für den Achsenabschnitt definiert.

Die Zielvariablen waren jeweils der jährliche Höhenzuwachs und der jährliche Kronenvolumenzuwachs. Die Prädiktoren waren Daten aus den Jahren 2002 und 2012. Es wurden Modelle mit allen Daten gemeinsam aufgestellt, sowie auch aufgeteilt nach Region. Die Modelle wurden nach der Methode der *maximum likelihood* gefittet (Dormann, 2012).

Zu Beginn wurde ein Modell mit allen Prädiktoren aufgestellt. Mit der Funktion „dredge“ wurden alle Modelle, die aus unterschiedlichen Kombinationen der gegebenen Variablen möglich sind, miteinander verglichen und nach dessen *corrected Akaike Information Criterion* (AICc) rangiert. Der AICc wird statt des AIC (*Akaike Information Criterion*) benutzt, wenn die Anzahl der Beobachtungen im Vergleich zur Anzahl der Parameter klein ist ($\frac{\text{Anzahl Beobachtungen}}{\text{Anzahl Parameter}} < 40$) (Burnham & Anderson, 2002; Burnham & Anderson, 2004).

Für jedes Modell wurde der AICc gemäss folgender Formel berechnet:

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$$

Wobei n die Anzahl Beobachtungen, k die Anzahl Parameter und $AIC = -2\log(\text{likelihood}) + 2k$ ist (Burnham & Anderson, 2002).

Alle möglichen Modelle wurden mit Hilfe des AICc gemäss folgender Formel gewichtet:

$$W_i = \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta_i}}{\sum_{i=1}^m e^{-\frac{1}{2}\Delta_i}}$$

Wobei m die Anzahl aller möglichen Modelle mit den gegebenen Prädiktor und Δ_i die Differenz des AICc zwischen dem Modell i und dem Modell mit dem kleinsten AICc ist (Burnham & Anderson, 2002; Johnson & Omland, 2004). Die Akaike-Gewichtungen stellen die Wahrscheinlichkeit dar, mit der das Modell i die beobachteten Daten am besten erklären kann (Johnson & Omland, 2004). Die

Modellmittelung wurde über alle möglichen Modelle durchgeführt. Somit hat der Schätzwert eine geringere Modellselektionverzerrung, als wenn die Modellmittelung nur über ausgewählte Modelle durchgeführt wird (Burnham & Anderson, 2002).

Die mittlere relative Wichtigkeit aller Variablen wurde durch das Summieren der Akaike-Gewichtungen der einzelnen Prädiktoren über alle Modelle, in denen die Variable vorkommt, berechnet. Für die Modelle mit den geringsten AICc-Werten wurden die Residuen und die zufälligen Effekte auf Normalverteilung überprüft. Um die Güte der Modelle zu visualisieren wurden die gefitteten Werte gegen die Residuen aufgetragen. Mit *Pearson-Korrelationen* wurde der lineare Zusammenhang zwischen den beobachteten Werten und den gefitteten Werten getestet. Die Korrelationskoeffizienten wurden durch r ausgedrückt. Für jedes Modell wurde die Wurzel aus dem mittleren Quadrat des Vorhersagefehlers berechnet, welche aussagt, um wie viel das Modell im Vergleich zu den beobachteten Daten falsch liegt. Des Weiteren wurde für jedes Modell eine 10-fache Kreuzvalidierung durchgeführt, wobei der gesamte Datensatz in zehn zufällige Gruppen eingeteilt wurde. Mit neun dieser Gruppen wurde das Modell gefittet und mit der übrigen Gruppe getestet. Dies wurde für jedes Modell 100-mal wiederholt. Aus der Validierung konnte der durchschnittliche Korrelationskoeffizient r und die durchschnittliche Wurzel aus dem mittleren Quadrat des Vorhersagefehlers berechnet werden. Die Grafiken der Güte der Modelle und ihrer Validierung sind im Anhang A 7 einzusehen. Die Auswertung erfolgte in R (R Version 2.15.2 (2012-10-26)) (R Core Team, 2012). Für die Modellierung wurde das Paket „lme4“ benutzt (R package „lme4“ version 0.999999-0) (Bates et al., 2012). Für das Selektieren der Modelle wurde das Paket „MuMIn“ verwendet (R package „MuMIn“ version 1.8.0) (Bartin, 2012). Die Boxplots der deskriptiven Statistik wurden mit einem gepaarten t-Test getestet.

3. Resultate

3.1. Feldaufnahmen und Wiederfindungsrate



Abbildung 19 Messungen an einer Fichte während der Feldarbeit in Sedrun (eigene Darstellung).

Die Tabelle 3 und Tabelle 4 geben einen Überblick über die Parameter, welche im Jahr 2012 aufgenommen wurden. Zusätzlich sind die Tabellen mit einigen Variablen der Aufnahmen im Jahr 2002 durch Cunningham et al. (2006) ergänzt.

Tabelle 3 Übersicht über die im Feld gemessenen Parameter. Es sind nur Bäume berücksichtigt, die für die Auswertungen benutzt werden (N = 302).

| Parameter | | | Anzahl Bäume |
|------------------------|-------------|--|-----------------|
| Verbiss 2002 | verbissen | | 37 |
| | unverbissen | | 265 |
| Verbiss 2009 | verbissen | | 44 |
| | unverbissen | | 258 |
| Verbiss 2010 | verbissen | | 41 |
| | unverbissen | | 261 |
| Verbiss 2011 | verbissen | | 37 |
| | unverbissen | | 265 |
| | nie | | 210 |
| Verbiss- intensität | 1 mal | | 71 |
| | 2 mal | | 12 |
| | 3 mal | | 9 |

| Parameter | | | Anzahl Bäume |
|----------------------------|--------------|--|-----------------|
| Topografie, kleinräumig | Ebene | | 234 |
| | Kuppe | | 61 |
| | Mulde | | 7 |
| Substrat | Boden | | 224 |
| | Mineralboden | | 24 |
| | Moderholz | | 54 |
| Über- schirmung | überschirmt | | 86 |
| | nicht | | |
| | überschirmt | | 216 |

Tabelle 4 Übersicht über Parameter, die im Feld gemessen wurden. Es sind nur Bäume berücksichtigt, die für die Auswertungen benutzt werden (N = 302).

| Parameter | Einheit | Min. | Max. | Durchschnitt |
|--|---------------------------|------|--------|--------------|
| Ausgangshöhe | [cm] | 11.0 | 130.0 | 57.9 |
| Stammlänge 2012 | [cm] | 21.0 | 480.0 | 113.0 |
| jährlicher relativer Höhenzuwachs | [a ⁻¹] | 0.7 | 65.5 | 9.7 |
| jährlicher Höhenzuwachs | [cm/a] | 0.4 | 38.2 | 5.4 |
| jährlicher Kronenvolumenzuwachs | [cm ³ /a] | 5 | 630753 | 29797 |
| Endtrieblänge 2010 | [cm] | 1.0 | 45.0 | 6.3 |
| Endtrieblänge 2011 | [cm] | 0.5 | 45.0 | 7.0 |
| Endtrieblänge 2012 | [cm] | 0.0 | 45.0 | 6.5 |
| potentielle Juni-sonnenscheindauer | [h/d] | 0.0 | 14.0 | 4.5 |
| direktes Licht | [Mol/(m ² *d)] | 0.3 | 22.6 | 9.7 |
| Höhe über Meer | [m] | 1570 | 2050 | 1830 |
| Befall von schwarzem Schneeschimmel 2002 | [%] | 0 | 60 | 6 |
| Befall von schwarzem Schneeschimmel 2012 | [%] | 0 | 60 | 7 |
| Vegetationskonkurrenz auf halber Baumhöhe 2012 | | | | |
| Konkurrenzfreiheit | [%] | 10 | 100 | 75 |
| Gras | [%] | 0 | 80 | 6 |
| Kraut | [%] | 0 | 40 | 1 |
| Strauch | [%] | 0 | 50 | 4 |
| andere Verjüngung | [%] | 0 | 90 | 14 |
| Vegetationskonkurrenz am Boden 2002 | | | | |
| Konkurrenzfreiheit | [%] | 0 | 100 | 37 |
| Gras | [%] | 0 | 90 | 23 |
| Kraut | [%] | 0 | 60 | 12 |
| Strauch | [%] | 0 | 100 | 24 |
| andere Verjüngung | [%] | 0 | 60 | 9 |
| Hangneigung | [°] | 4 | 48 | 30 |

In Tabelle 5 ist ersichtlich, wie viele Bäume zehn Jahre nach der Erstaufnahme durch Cunningham et al. (2006) wiedergefunden wurden. Die Bäume sind nach Region, Exposition und Höhenklasse aufgeteilt. Insgesamt wurden 336 lebende Bäume wiedergefunden, was 53% der 640 ursprünglich erfassten Bäume entspricht. In Davos wurden ca. 10% mehr lebende Bäume wiedergefunden als in Sedrun. In Davos konnten an nordexponierten Hängen prozentual am meisten Bäume

wiedergefunden werden (70.9%), in Sedrun dagegen an südexponierten Hängen (56.4%). Nur 33% der Bäume der Höhenklasse A konnten wiedergefunden werden, wohingegen 64% bzw. 61% der Bäume der Höhenklassen B bzw. C wiedergefunden wurden. Von 31 Bäumen wurde nur noch das lose Nummernschild am Boden gefunden. Dies war doppelt so oft der Fall bei A-Bäumen im Vergleich zu B- oder C-Bäumen. Insgesamt wurden 16 tote Bäume gefunden. Von den gefundenen toten Bäumen sind sieben A-Bäume. In Abbildung 20 ist die Wiederfindungsrate, aufgeteilt nach Region und Exposition, zusätzlich grafisch dargestellt.

Tabelle 5 Wiederfindungsrate aufgeteilt nach Region, Exposition und Höhenklasse. Die Angaben sind in Prozent. In Klammern ist die Anzahl Bäume angegeben.

| | | lebende Bäume | Nur Nr. gefunden | tote Bäume | Nicht gefunden |
|------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------|-------------------|
| | Total | 52.5 (336) | 4.8 (31) | 2.5 (16) | 40.2 (257) |
| Davos | alle Expositionen | 57.9 (186) | 4.4 (14) | 2.2 (7) | 35.5 (114) |
| | Ost | 47.6 (39) | 1.2 (1) | 0.0 (0) | 51.2 (42) |
| | Nord | 70.9 (56) | 5.1 (4) | 2.5 (2) | 21.5 (17) |
| | Süd | 63.8 (51) | 6.3 (5) | 6.3 (5) | 23.8 (19) |
| | West | 50.0 (40) | 5.0 (4) | 0.0 (0) | 45.0 (36) |
| Sedrun | alle Expositionen | 47.0 (150) | 5.3 (17) | 2.8 (9) | 44.8 (143) |
| | Ost | 45.0 (36) | 1.3 (1) | 0.0 (0) | 53.8 (43) |
| | Nord | 43.4 (36) | 4.8 (4) | 0.0 (0) | 51.8 (43) |
| | Süd | 56.4 (44) | 10.3 (8) | 9.0 (7) | 24.4 (19) |
| | West | 43.6 (34) | 5.1 (4) | 2.6 (2) | 48.7 (38) |
| Höhen- klasse | A (10-30cm) | 32.9 (71) | 7.4 (16) | 3.2 (7) | 56.5 (122) |
| | B (31-60cm) | 64.4 (138) | 3.7 (8) | 1.9 (4) | 30.1 (65) |
| | C (61-130cm) | 61.3 (127) | 3.4 (7) | 2.5 (5) | 32.8 (67) |

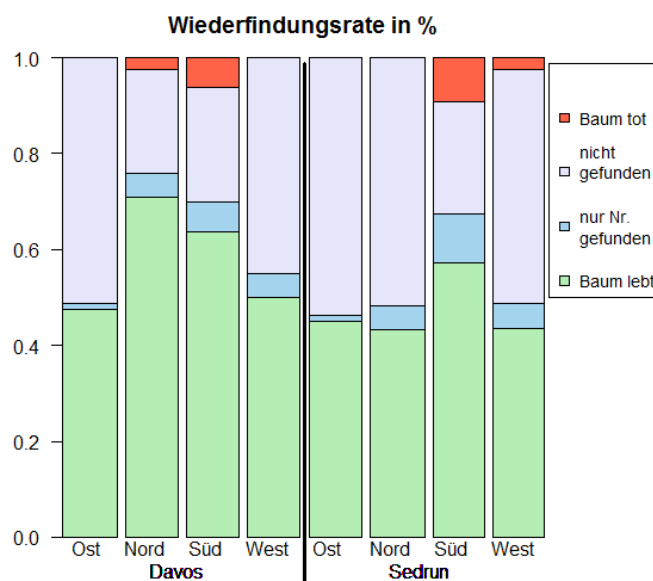


Abbildung 20 Wiederfindungsrate in Prozent aufgeteilt nach Region und Exposition.

3.2. Mortalität

Wie bereits erwähnt, wurden insgesamt 16 tote Bäume gefunden, sieben davon in Davos und neun in Sedrun. In Davos wurden fünf an südexponierten und zwei an nordexponierten Hängen gefunden. In Sedrun wurden ebenfalls die meisten toten Bäume (7) an südexponierten Hängen gefunden, zwei weitere befanden sich an westexponierten Hängen. An ostexponierten Hängen wurden in beiden Regionen keine toten Bäume gefunden.

Die Bedingungen, unter denen diese Bäume lebten, waren sehr unterschiedlich. Einige Bäume hatten eine geringe potenzielle Sonnenscheindauer, andere waren stark von schwarzem Schneesimmel befallen und wieder andere hatten viel Konkurrenz auf halber Baumhöhe. Es sind jedoch auch Bäume gestorben, für die keiner dieser Faktoren zutrifft. Die gefundenen toten Bäume hatten im Jahr 2012 eine signifikant geringere durchschnittliche potenzielle Junisonnenscheindauer als die gefundenen lebenden Bäume ($p = 0.017$) (Abbildung 21). Der Mittelwert der potenziellen Junisonnenscheindauer der toten Bäume beträgt 2.4 Stunden, derjenige der lebenden Bäume 4.5 Stunden. Des Weiteren waren die Hänge, an denen die toten Bäume gefunden wurden, signifikant steiler als die Hänge, an denen die lebenden Bäume gefunden wurden ($p = 0.037$) (Abbildung 22). Der Mittelwert der Hangneigung bei den toten Bäumen beträgt 34.8° , derjenige bei den lebenden Bäumen beträgt 30.4° .

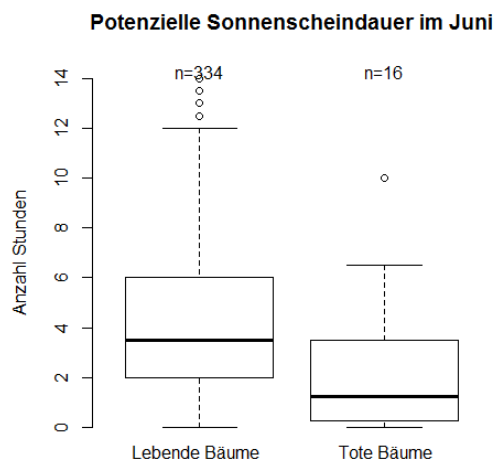


Abbildung 21 Potenzielle Junisonnenscheindauer aufgeteilt nach lebenden und toten Bäumen.

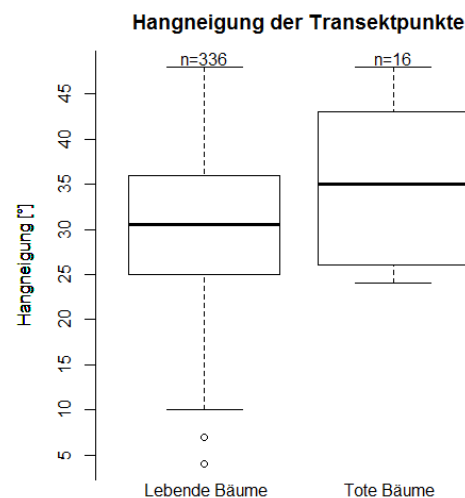


Abbildung 22 Durchschnittliche Hangneigung der Transektpunkte, an welchen lebende oder tote Bäume gefunden wurden.

Etwa 40% der 2002 markierten Bäume wurden nicht mehr gefunden. Um abschätzen zu können, wie viele der nicht gefundenen Bäume in den letzten zehn Jahren ausgefallen sind, wurde nach Mustern in den Daten gesucht. Die Gruppe der toten Bäume (N=16) wurde mit der Gruppe der

lebenden (N=336), der Gruppe der nicht gefundenen (N=257) und der Gruppe der Bäume, von denen nur noch das Nummernschild gefunden wurde (N=31), verglichen. Jedoch lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen der lebenden, toten oder nicht gefundenen Bäume in Bezug auf das direkte Licht im Juni 2002 erkennen⁵. Auch der Befall von schwarzem Schneeschimmel unterscheidet sich in keiner der Gruppen signifikant voneinander⁶. Bei den nicht gefundenen Bäumen wurden im Jahr 2002 signifikant weniger Bäume verbissen (18.9%) als bei den lebenden Bäumen (77.4%) ($p = 0.018$)⁷.

3.3. Höhen- und Kronenvolumenzuwachs

In Tabelle 6 sind der jährliche Höhenzuwachs sowie der jährliche Kronenvolumenzuwachs zwischen 2002 und 2012 ersichtlich. Die Zahlen sind Mittelwerte der 302 Bäume, die für die Modellierung benutzt werden.

Tabelle 6 Durchschnittlicher jährlicher Höhen- bzw. Kronenvolumenzuwachs von 2002 bis 2012 (N=302).

| Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs von 2002 - 2012 | | | |
|--|--------------|--------------------------------|--|
| | | Höhenzuwachs [cm/a] | Kronenvolumen- zuwachs [cm³/a] |
| Region | Total | 5.3 | 27829 |
| | Davos | 5.1 | 29666 |
| | Sedrun | 5.7 | 25449 |
| Höhen- klasse | A (10-30cm) | 2.6 | 2398 |
| | B (31-60cm) | 3.9 | 8828 |
| | C (61-130cm) | 8.6 | 63849 |

Durchschnittlich sind die untersuchten Bäume zwischen 2002 und 2012 um 5.3 cm pro Jahr gewachsen. Das Kronenvolumen der Bäume hat im Durchschnitt pro Jahr um 27'829 cm³ zugenommen. In Sedrun sind die Bäume mit durchschnittlich 5.7 cm pro Jahr tendenziell etwas mehr gewachsen als in Davos mit 5.1 cm pro Jahr⁸. Der Höhenzuwachs sowie der Kronenvolumenzuwachs unterscheiden sich zwischen den Expositionen nicht signifikant⁹. Der Höhenzuwachs sowie auch der Kronenvolumenzuwachs nach Höhenklassen unterteilt ist in keiner

⁵ Alle $p > 0.66$

⁶ Alle $p > 0.17$

⁷ Die p -Werte aller anderen Gruppen untereinander sind $p > 0.24$.

⁸ Der Unterschied ist allerdings nicht signifikant ($p = 0.2$).

⁹ Die p -Werte des Höhenzuwachses zwischen den Expositionen sind alle $p > 0.19$ und die p -Werte des Kronenvolumenzuwachses zwischen den Expositionen sind alle $p > 0.24$.

der Expositionen signifikant voneinander unterschiedlich¹⁰.

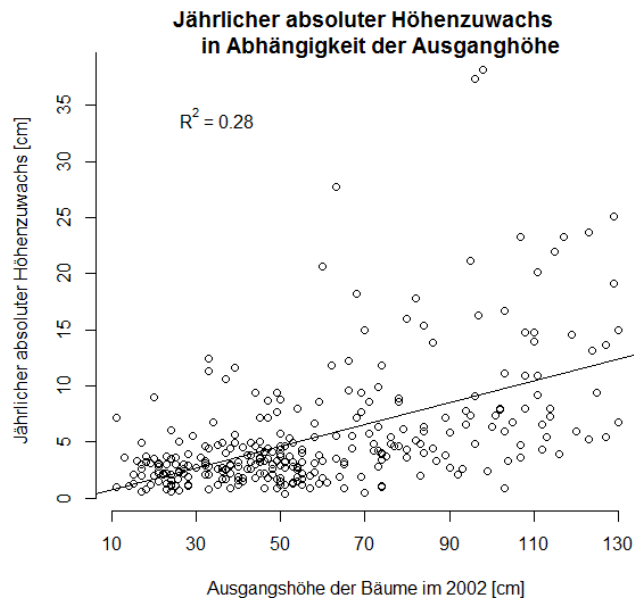


Abbildung 23 Der jährliche absolute Höhenzuwachs in Abhängigkeit zur Ausgangshöhe der Bäume im Jahr 2002.

Wie in Abbildung 23 ersichtlich, ist der absolute Höhenzuwachs von der Ausgangshöhe der Bäume abhängig. Die C-Bäume haben durchschnittlich den grössten absoluten jährlichen Höhenzuwachs (8.6 cm/a), die A-Bäume den kleinsten (2.6 cm/a). Der absolute Höhenzuwachs der C-Bäume ist signifikant grösser als derjenige der A- ($p < 0.001$) und B-Bäume (3.9 cm/a) ($p < 0.001$). Die A- und B-Bäume unterscheiden sich hingegen nicht signifikant voneinander¹¹. Der Zuwachs des Kronenvolumens verhält sich entsprechend. Die C-Bäume haben durchschnittlich den grössten Kronenvolumenzuwachs (63'849 cm³/a) zwischen den Jahren 2002 und 2012, die A-Bäume den kleinsten (2'398 cm³/a). Der Kronenvolumenzuwachs der C-Bäume ist signifikant grösser als der Kronenvolumenzuwachs der A- ($p < 0.001$) und B-Bäume (8'828 cm³/a) ($p < 0.001$). Der Kronenvolumenzuwachs zwischen den A- und B-Bäumen unterscheidet sich wiederum nicht signifikant. Der jährliche relative Höhenzuwachs ist allerdings bei den A-Bäumen (12.5 a⁻¹) signifikant grösser als bei den B-Bäumen (8.5 a⁻¹) ($p = 0.003$) und ebenfalls signifikant grösser als bei den C-Bäumen (9.6 a⁻¹) ($p = 0.04$). Die B- und C-Bäume unterscheiden sich diesbezüglich nicht¹².

Das Wachstum der untersuchten Bäume ist weder exponentiell noch linear. Lineares Wachstum würde bedeuten, dass der absolute Zuwachs bei allen untersuchten Bäumen gleich wäre

¹⁰ Alle $p > 0.23$

¹¹ $p = 0.15$

¹² $p = 0.27$

(vergleiche dazu Abbildung 23). Exponentielles Wachstum hingegen würde bedeuten, dass der relative Zuwachs bei allen untersuchten Bäumen gleich wäre. Dies ist, wie zuvor gezeigt, jedoch nicht der Fall. Die A-Bäume haben einen signifikant grösseren jährlichen relativen Höhenzuwachs als die anderen Bäume.

3.4. Vitalität 2002 und 2012

In folgendem Abschnitt werden einige Resultate präsentiert, die für die Beantwortung der Leitfrage 4) „Wie hat sich die Vitalität der untersuchten Bäume in den letzten zehn Jahren verändert?“ herbeigezogen werden können.

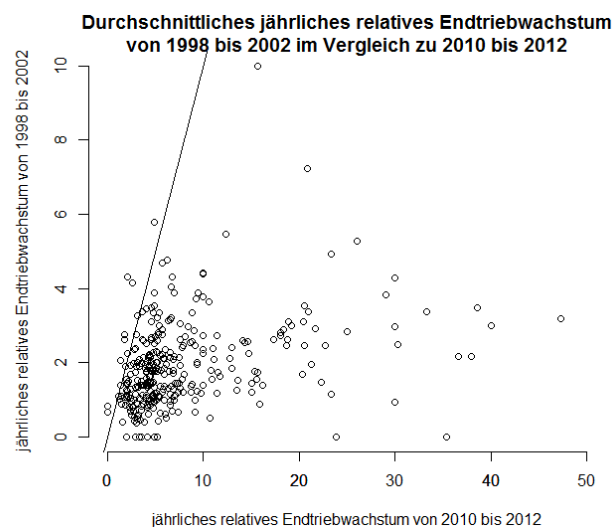


Abbildung 24 Durchschnittliches jährliches relatives Endtriebwachstum von 1998 bis 2002 im Vergleich zu 2010 bis 2012. Die Linie dient zur Orientierung ($x=y$).

Abbildung 24 zeigt das mittlere jährliche relative Endtriebwachstum der Bäume zwischen 1998 und 2002 im Vergleich zum mittleren jährlichen relativen Endtriebwachstum der Bäume zwischen 2010 und 2012. Die durchgezogene Linie dient als Orientierungshilfe ($x=y$). Das Endtriebwachstum der Bäume, die auf der Linie liegen, ist in den beiden Zeitfenstern genau gleich gross. Wird die Vitalität der Bäume als deren jährliches relatives Endtriebwachstum definiert, so ist die Vitalität der Bäume, die auf der Linie ($x=y$) liegen, gleich geblieben. Aus Abbildung 24 ist ersichtlich, dass die Vitalität der Bäume zwischen 2002 und 2012 generell zugenommen hat.

3.5. Licht

Die untersuchten Bäume in Sedrun haben mit durchschnittlich 5.9 Stunden eine signifikant längere potenzielle Junisonnenscheindauer als die Bäume in Davos, welche durchschnittlich 3.5 Stunden haben ($p < 0.001$). Vor allem Bäume an nord- und südexponierten Hängen in Davos haben eine kürzere potenzielle Junisonnenscheindauer (vergleiche dazu Tabelle 7). Die entsprechenden p -Werte sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 7 Durchschnittliche Anzahl Stunden potenzieller Junisonnenscheindauer in Davos und Sedrun an den verschiedenen Expositionen.

| Exposition | | Anzahl Stunden potenzieller Junisonnenscheindauer |
|------------|------|---|
| Davos | Ost | 3.9 |
| | Nord | 2.8 |
| | Süd | 3.1 |
| | West | 4.3 |
| Sedrun | Ost | 5.5 |
| | Nord | 5.9 |
| | Süd | 6.2 |
| | West | 5.8 |

Tabelle 8 P -Werte der potenziellen Junisonnenscheindauer von nord- und südexponierten Hängen in Davos im Vergleich zu den vier Expositionen in Sedrun.

| | | Davos | |
|--------|------|---------------------|--------|
| | | Nord | Süd |
| Sedrun | Ost | 0.0094 | 0.04 |
| | Nord | 0.0008 | 0.005 |
| | Süd | $3.5 \cdot 10^{-5}$ | 0.0004 |
| | West | 0.0028 | 0.014 |

Wie in Abbildung 26 ersichtlich, korreliert die potenzielle Junisonnenscheindauer sehr stark mit dem direkten Licht im Juni ($R^2=0.89$). Die potenzielle Junisonnenscheindauer der untersuchten Bäume 2012 korreliert ebenfalls stark mit dem direkten Licht, das im Juni 2002 gemessen wurde (siehe Abbildung 25). Allerdings ist die Korrelation etwas weniger stark ($R^2=0.69$).

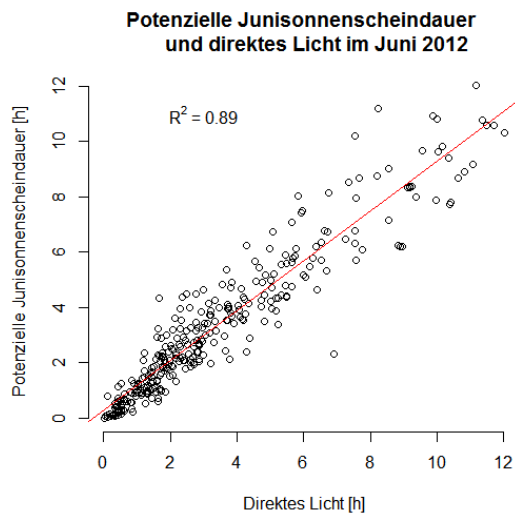


Abbildung 26 Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 im Vergleich zum direkten Licht im Juni 2012. Die Daten wurden in Brigels aufgenommen. Beide Werte wurden anhand von Fischaugenfotografien berechnet (Stroheker, 2013).

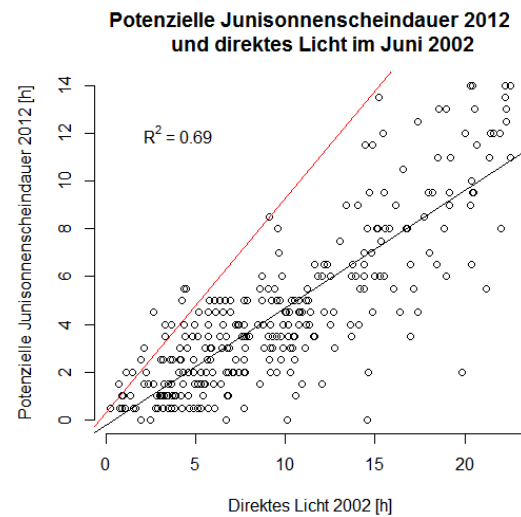


Abbildung 25 Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012, gemessen mit einem Sonnenkompass, im Vergleich zum direkten Licht im Juni 2002, berechnet anhand von Fischaugenfotos. Die rote Linie entspricht der Korrelation zwischen der potenziellen Junisonnenscheindauer und dem direkten Licht in Brigels.

Aus Abbildung 25 ist ersichtlich, dass die Verjüngung 2012 im Vergleich zu 2002 weniger potenzielle Junisonnenscheindauer zur Verfügung hat. Die rote Linie in Abbildung 25 entspricht der Korrelationsgerade aus Abbildung 26. Das heisst, dass die Datenpunkte um diese Gerade streuen würden, wenn die Daten im selben Jahr aufgenommen worden wären. Die Daten zum direkten Licht (2002) und zur potenziellen Junisonnenscheindauer (2012) wurden jedoch im Abstand von zehn Jahren erhoben. Obschon die Lichtverhältnisse in drei verschiedenen Regionen (Brigels, Davos und Sedrun) gemessen wurden, sind die Bedingungen vergleichbar, da sich alle drei Regionen im Kanton Graubünden auf ähnlichen Breitengraden (46.5 bis 46.8°) befinden.

3.6. Verbiss

Die Verbissintensität ist der prozentuale Anteil der Bäume, deren Endtrieb im Verlaufe eines Jahres abgebissen wird (Eiberle & Nigg, 1987). Die Verbissintensitäten liegen bei 12 bis 14% (siehe Tabelle 9). In Davos ist die Verbissintensität über alle Expositionen betrachtet grösser als in Sedrun. In Sedrun ist die Verbissintensität zwischen den Jahren 2009 und 2011 (11%, 10% und 11%) etwa gleich geblieben, wobei sie in Davos tendenziell abgenommen hat (17%, 16% und 13%). In Davos sowie auch in Sedrun ist die Verbissintensität an nordexponierten Hängen durchschnittlich am grössten (Davos: 23%, Sedrun: 15%) und an südexponierten Hängen

tendenziell am geringsten (Davos: 10%, Sedrun: 8%).

Der Grenzwert für die Verbissintensität der Fichte (*Picea Abies*) liegt laut Eiberle & Nigg (1987) bei 12%. Die gemessenen Verbissintensitäten bewegen sich um diesen Grenzwert. Vor zehn Jahren lag die Verbissintensität der untersuchten Bäume mit 8% etwas tiefer. Dabei war die Verbissintensität in Davos durchschnittlich 10.3% und in Sedrun 6.3% (berechnet mit Daten aus Cunningham et al., 2006).

Tabelle 9 Prozent aller lebenden Bäume, die verbissen wurden, im Vergleich zwischen den Jahren 2011, 2010 und 2009.

| Verbiss | | N | 2011 | 2010 | 2009 |
|------------------|-------------------|-----|------|------|------|
| Davos | Total | 336 | 12% | 13% | 14% |
| | alle Expositionen | 186 | 13% | 16% | 17% |
| | Ost | 39 | 10% | 13% | 15% |
| | Nord | 56 | 20% | 27% | 23% |
| | Süd | 51 | 8% | 6% | 16% |
| | West | 40 | 13% | 15% | 10% |
| Sedrun | alle Expositionen | 150 | 11% | 10% | 11% |
| | Ost | 36 | 8% | 14% | 11% |
| | Nord | 36 | 11% | 17% | 17% |
| | Süd | 44 | 14% | 2% | 7% |
| | West | 34 | 12% | 9% | 9% |
| Höhen- klasse | A (10-30cm) | 71 | 18% | 8% | 8% |
| | B (31-60cm) | 138 | 15% | 18% | 17% |
| | C (61-130cm) | 127 | 6% | 10% | 14% |

Die Bäume, die zwischen 2009 und 2011 nie verbissen wurden, haben mit durchschnittlich 5.9 cm einen signifikant grösseren jährlichen Höhenzuwachs als Bäume, die mindestens einmal in diesen drei Jahren verbissen wurden (4.2 cm/a) ($p = 0.013$). Auf den Kronenvolumenzuwachs hat der Verbiss allerdings keinen signifikanten Einfluss¹³. Werden die Bäume in Höhenklassen unterteilt, ist nur der durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs der C-Bäume signifikant kleiner, wenn sie in diesen drei Jahren mindestens einmal verbissen wurden (verbissen: 6.0 cm, unverbissen: 9.8 cm) ($p = 0.009$). In den anderen beiden Höhenklassen hat der Verbiss keinen signifikanten Einfluss auf den jährlichen Höhenzuwachs (A-Bäume, verbissen: 2.2 cm, unverbissen: 2.6 cm; B-Bäume, verbissen: 3.7 cm, unverbissen 3.8 cm)¹⁴.

Bäume, die im Jahr 2002 verbissen wurden, haben in den letzten zehn Jahren mit durchschnittlich 7 cm einen signifikant grösseren jährlichen Höhenzuwachs als diejenigen, die nicht verbissen

¹³ $p = 0.11$

¹⁴ A-Bäume: $p = 0.46$; B-Bäume: $p = 0.76$

wurden (5.2 cm/a) ($p = 0.047$). Der Kronenvolumenzuwachs der 2002 verbissenen Bäume ist mit einem durchschnittlichen jährlichen Wert von 54'990 cm³ ebenfalls signifikant grösser als derjenige der nicht verbissenen Bäume (26'280 cm³) ($p = 0.0094$). Werden die Bäume in Höhenklassen aufgeteilt, sind auch hier nur die 2002 verbissenen C-Bäume mit 12.6 cm jährlich signifikant höher gewachsen als die 2002 nicht verbissenen (8.2 cm) ($p = 0.041$)¹⁵. Ein signifikant grösserer jährlicher Kronenvolumenzuwachs nach einem Verbiss 2002 (120'300 cm³) ist ebenfalls nur bei C-Bäumen zu sehen (2002 nicht verbissen: 60'700 cm³) ($p = 0.024$)¹⁶.

3.7. Schwarzer Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*)

Die Verteilung des Befalls von schwarzem Schneeschimmel im Jahr 2012 ist mit der Verteilung im Jahr 2002 vergleichbar. In beiden Jahren ist die Mehrheit der Bäume wenig (<5% der Krone) von schwarzem Schneeschimmel befallen, nur wenige Bäume sind stark befallen. 41% der wiedergefundenen Bäume weisen keinen Befall von schwarzem Schneeschimmel auf, während 2002 60% der Bäume nicht befallen waren. Bei 35% der 2012 gemessenen Bäume ist die Krone zu weniger als fünf Prozent befallen. Nur bei 8% der Bäume sind mehr als 30% der Krone von schwarzem Schneeschimmel befallen.

Bäume in Sedrun sind mit durchschnittlich 10% signifikant mehr von schwarzem Schneeschimmel befallen als Bäume in Davos, welche durchschnittlich zu 5% befallen sind ($p < 0.001$). Vor allem an südexponierten Hängen in Sedrun sind Bäume mit durchschnittlich 15% signifikant mehr von schwarzem Schneeschimmel befallen als an allen anderen Expositionen (siehe dazu Tabelle 10). In Davos gibt es keine Unterschiede zwischen den Expositionen bezüglich des Schneeschimmelbefalls.

Tabelle 10 P-Werte und prozentualer Befall von schwarzem Schneeschimmel zwischen der Exposition Sedrun Süd und allen anderen Expositionen in Davos und Sedrun.

| | Davos | | | | Sedrun | | | |
|----------------------|-------|--------|--------|-------|--------|------|-------|-----|
| | Ost | Nord | Süd | West | Ost | Nord | West | Süd |
| Befall von schwarzem | | | | | | | | |
| Schneeschimmel | 7% | 4% | 4% | 6% | 9% | 10% | 4% | 15% |
| P-Werte: Sedrun Süd | 0.082 | 0.0004 | 0.0002 | 0.011 | 0.63 | 0.89 | 0.002 | - |

Überschirmte Bäume sind mit durchschnittlich 4% signifikant weniger von schwarzem Schneeschimmel befallen als nicht überschirmte Bäume, welche durchschnittlich zu 9% befallen

¹⁵ A-Bäume, 2002 verbissen: 2.0 cm, 2002 unverbissen: 2.6 cm, $p = 0.38$; B-Bäume, 2002 verbissen: 3.9 cm, 2002 unverbissen: 3.7 cm, $p = 0.95$.

¹⁶ A-Bäume, 2002 verbissen: 2'862 cm³, 2002 unverbissen: 2'228 cm³, $p = 0.44$; B-Bäume, 2002 verbissen: 14'040 cm³, 2002 unverbissen: 7'926 cm³, $p = 0.2$.

sind ($p = 0.0025$).

3.8. Modelle

In dieser Arbeit werden mehrere Modelle aufgestellt. Einerseits Modelle über beide Regionen hinweg und andererseits aufgeteilt nach Region. Die Zielvariablen sind der jährliche Höhenzuwachs und der jährliche Kronenvolumenzuwachs. Als Prädiktoren werden die Daten aus den Jahren 2002 und 2012 verwendet. Zur Übersicht sind die Modelle in Tabelle 11 kurz charakterisiert. Die Resultate der Modelle sollen dazu beitragen, Leitfrage 3) „Wie wird das Wachstum der untersuchten Bäume zwischen 2002 und 2012 durch die Faktoren Ausgangshöhe, Lichtverfügbarkeit, Schneeschimmelbefall, Exposition, Hangneigung, Meereshöhe, Mikrotopografie, Substrat, Konkurrenz, Verbiss und Überschirmung beeinflusst?“ und Leitfrage 2) „Wie gut kann mit den im Jahr 2002 und 2012 gemessenen Umweltbedingungen der Höhenzuwachs bzw. der Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung von 2002 bis 2012 erklärt werden?“ zu beantworten.

Tabelle 11 Modellbezeichnungen der Modelle mit Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs (HZW) und jährlicher Kronenvolumenzuwachs (KVZ) mit den enthaltenen Prädiktoren.

| Modellbezeichnungen der Modelle mit Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs und jährlicher Kronenvolumenzuwachs | | Prädiktoren gemessen 2002 | | | | | | | | | | Prädiktoren gemessen 2012 | | | | | | |
|---|---------------------|----------------------------------|----------------|------------|--------|---------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------|---|----------------------------------|--------------|--|---------------|--|--|--|
| Modellname* | Datensatz | Ausgangshöhe | Höhe über Meer | Exposition | Region | Neigung | Direktes Licht | Schneeschild | Verbiss 2002 | Konkurrenzfrei eit am Boden | potenzielle Junisonnen- scheindauer | Schneeschild | Verbiss 2012 | Konkurrenzfrei eit auf halber Baumhöhe | Überschirmung | | | |
| Modell HZW 2012 Davos-Sedrun | n= 302 (alle) | X | X | X | X | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell HZW 2012 Davos | n= 169 (nur Davos) | X | X | X | | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell HZW 2012 Sedrun | n= 133 (nur Sedrun) | X | X | X | | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell HZW 2002 Davos-Sedrun | n= 302 (alle) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Modell HZW 2002 Davos | n= 169 (nur Davos) | X | X | X | | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Modell HZW 2002 Sedrun | n= 133 (nur Sedrun) | X | X | X | | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Modell KVZ 2012 Davos-Sedrun | n= 302 (alle) | X | X | X | X | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell KVZ 2012 Davos | n= 169 (nur Davos) | X | X | X | | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell KVZ 2012 Sedrun | n= 133 (nur Sedrun) | X | X | X | | X | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Modell KVZ 2002 Davos-Sedrun | n= 302 (alle) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Modell KVZ 2002 Davos | n= 169 (nur Davos) | X | X | X | | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Modell KVZ 2002 Sedrun | n= 133 (nur Sedrun) | X | X | X | | X | X | X | X | X | | | | | | | | |

* HZW = Höhenzuwachs; KVZ = Kronenvolumenzuwachs

3.8.1. Modelle zum Höhenzuwachs

Die wichtigsten Variablen der drei „Modelle HZW 2012“, um den jährlichen Höhenzuwachs zu beschreiben, sind die Ausgangshöhe der Bäume, die potenzielle Junisonnenscheindauer und die Höhe über Meer (siehe Tabelle 12). In Tabelle 13 sind die wichtigsten statistischen Kennzahlen der Modelle mit der Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs zusammengefasst.

Das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“ mit den drei Variablen Ausgangshöhe, potenzielle Junisonnenscheindauer und Höhe über Meer beschreibt den jährlichen Höhenzuwachs in Davos und Sedrun am besten und hat einen AIC von 637.5. Werden die beiden Regionen getrennt betrachtet, sind wiederum für beide Regionen die Ausgangshöhe, die potenzielle Junisonnenscheindauer und die Höhe über Meer die wichtigsten Prädiktoren. Allerdings ist die Exposition für das „Modell HZW 2012 Sedrun“ viel wichtiger (relative Wichtigkeit 0.39), um den Höhenzuwachs zu beschreiben, als für das „Modell HZW 2012 Davos“ (0.07). Der AIC für das „Modell HZW 2012 Davos“ beträgt 370.1 mit 169 gemessenen Bäumen. Der AIC für das „Modell HZW 2012 Sedrun“ beträgt 304.1 mit 133 gemessenen Bäumen. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an gemessenen Bäumen in Davos und Sedrun können diese Modelle nicht in ihrer Güte verglichen werden. Die „Modelle HZW 2012“ können jedoch mit den entsprechenden „Modellen HZW 2002“ verglichen werden, da die Anzahl gemessener Bäume gleich ist und sie sich nur in einigen Prädiktoren unterscheiden.

Das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“ unterscheidet sich vom „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ bezüglich der Wichtigkeit der Variablen (vergleiche dazu Tabelle 12). Im „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ sind der prozentuale Befall von schwarzem Schneeschimmel (relative Wichtigkeit 1.00) und die Konkurrenzfreiheit (0.98) um ein Vielfaches wichtiger als im „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“ (schwarzer Schneeschimmel: 0.34, Konkurrenzfreiheit: 0.26). Der Verbiss ist im „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ (0.66) doppelt so wichtig wie im „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“ (0.32). Die übrigen Variablen sind in ihrer Wichtigkeit ähnlich wie im „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“.

Das beste „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ enthält zusätzlich zur Ausgangshöhe, potenziellen Junisonnenscheindauer und Höhe über Meer auch noch Exposition, Verbiss, Konkurrenzfreiheit und den Befall von schwarzem Schneeschimmel als Prädiktoren. Das beste „Modell HZW 2002 Davos“ enthält die Variablen Ausgangshöhe, direktes Licht, Konkurrenzfreiheit, Schneeschimmel, Höhe über Meer und Verbiss, und hat einen AIC von 373.2. Beim „Modell HZW 2002 Sedrun“ ist die Exposition (0.67) viel wichtiger als im „Modell HZW 2002 Davos“ (0.17). Der Verbiss (0.24) und die Konkurrenzfreiheit (0.37) sind allerdings im „Modell HZW 2002 Sedrun“ weniger wichtig als

im „Modell HZW 2002 Davos“ (Verbiss: 0.77, Konkurrenzfreiheit: 0.96). Das beste „Modell HZW 2002 Sedrun“ enthält die erklärenden Variablen Ausgangshöhe, direktes Licht, Schneeschimmel, Höhe über Meer und Exposition. Der AIC für das „Modell HZW 2002 Sedrun“ beträgt 317.1. Die „Modelle HZW 2012“ haben durchwegs einen kleineren AIC (Davos-Sedrun: 637.5, Davos: 370.1, Sedrun: 304.1) als die „Modelle HZW 2002“ (Davos-Sedrun: 643.1, Davos: 373.2, Sedrun: 317.1). Der Korrelationskoeffizient r der Pearson-Korrelationen der Höhenzuwachsmodelle ist insgesamt etwas mehr als 0.80. Die Korrelationskoeffizienten r der Validierung der Modelle (r (Validierung)) sind nur etwa halb so gross und zeigen, dass die Modelle mit neuen Daten den Höhenzuwachs weniger gut erklären können als mit den Daten mit denen die Modelle gefittet werden. Die Werte der Wurzel aus dem mittleren Quadrat des Vorhersagefehlers (RMSE) geben an, wie nahe die vorausgesagten Werte den beobachteten sind. Alle Höhenzuwachsmodelle können die Daten mit einer Abweichung von etwa 0.5 cm voraussagen. Die Wurzel aus dem mittleren Quadrat des Vorhersagefehlers der Validierung (RMSE (Validierung)) ist um einiges grösser, das heisst neue Daten können nur ungenau und mit einer grösseren Abweichung (ca. 4.5 cm) von den tatsächlichen Werten vorausgesagt werden.

Tabelle 12 Relative Wichtigkeit der Variablen für die Modelle mit der Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006).

| Relative Wichtigkeit der Variablen: | | | | | | |
|---|-----------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
| Modelle mit Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs | | | | | | |
| Variablen | Modell HZW 2012 | | | Modell HZW 2002 | | |
| | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun |
| Ausgangshöhe | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | | | |
| Direktes Licht 2002 | | | | 1.00 | 1.00 | 0.98 |
| Höhe über Meer | 0.98 | 0.82 | 0.85 | 0.96 | 0.87 | 0.59 |
| Exposition | 0.45 | 0.07 | 0.39 | 0.59 | 0.17 | 0.67 |
| Region | 0.40 | | | 0.30 | | |
| Überschirmung | 0.34 | 0.29 | 0.27 | | | |
| Schneeschimmel 2012 | 0.34 | 0.25 | 0.32 | | | |
| Schneeschimmel 2002 | | | | 1.00 | 0.92 | 0.91 |
| Verbiss 2012 | 0.32 | 0.38 | 0.24 | | | |
| Verbiss 2002 | | | | 0.66 | 0.77 | 0.24 |
| Konkurrenzfreiheit auf halber Baumhöhe 2012 | 0.26 | 0.28 | 0.27 | | | |
| Konkurrenzfreiheit am Boden 2002 | | | | 0.98 | 0.96 | 0.37 |
| Hangneigung | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.26 | 0.28 | 0.26 |

Tabelle 13 Zusammenfassung der statistischen Kennzahlen der besten Modelle mit der Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006).

| Modelle mit Zielvariable jährlicher Höhenzuwachs | | | | | | |
|---|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
| Statistische Kennzahlen | Modell HZW 2012 | | | Modell HZW 2002 | | |
| | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun |
| n | 302 | 169 | 133 | 302 | 169 | 133 |
| AIC | 637.5 | 370.1 | 304.1 | 643.1 | 373.2 | 317.1 |
| r | 0.81 | 0.79 | 0.84 | 0.83 | 0.85 | 0.82 |
| RMSE | 0.51 | 0.53 | 0.47 | 0.47 | 0.45 | 0.48 |
| r (Validierung) | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.44 | 0.43 | 0.41 |
| Konfidenzintervall | 0.379; 0.402 | 0.377; 0.404 | 0.376; 0.402 | 0.422; 0.452 | 0.411; 0.438 | 0.396; 0.422 |
| RMSE (Validierung) | 4.46 | 4.46 | 4.46 | 4.25 | 4.30 | 4.35 |
| Konfidenzintervall | 4.427; 4.490 | 4.423; 4.495 | 4.423; 4.493 | 4.204; 4.301 | 4.260; 4.344 | 4.313; 4.390 |
| Parameter | | | | | | |
| Achsenabschnitt | 0.00165 ** | 0.1082 | 0.067565 . | 0.00279 ** | 0.03587 * | 0.25843 |
| Ausgangshöhe | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** |
| Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 | 4.6e-09 *** | 3.07e-06 *** | 0.000417 *** | | | |
| Direktes Licht 2002 | | | | 1.00e-07 *** | 2.57e-05 *** | 0.00177 ** |
| Höhe über Meer | 0.00136 ** | 0.0204 * | 0.015157 * | 0.00379 ** | 0.01103 * | 0.10084 |
| Schneeschemmel 2002 | | | | 6.85e-05 *** | 0.00818 ** | 0.01040 * |
| Konkurrenzfreiheit am Boden 2002 | | | | 0.00172 ** | 0.00313 ** | |
| Verbiss 2002 | | | | 0.06466 . | 0.03502 * | |
| Exposition Nord | | | | 0.59187 | | 0.7083 |
| Exposition Süd | | | | 0.01565 * | | 0.01477 * |
| Exposition West | | | | 0.64011 | | 0.06365 . |

Signifikanzen: <0.001 '***' <0.01 '**' <0.05 '*' <0.1 '.'

3.8.2. Modelle zum Kronenvolumenzuwachs

Die wichtigsten Variablen des „Modells KVZ 2012 Davos-Sedrun“, um den jährlichen Kronenvolumenzuwachs zu beschreiben, sind Ausgangshöhe, potenzielle Junisonnenscheindauer, prozentualer Befall von schwarzem Schneeschimmel und Konkurrenzfreiheit auf halber Höhe des Baumes (siehe Tabelle 14). Nur halb so wichtig sind die Exposition und die Höhe über Meer.

In Tabelle 15 sind die statistischen Kennzahlen zu den Modellen mit der Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs zusammengefasst. Das beste „Modell KVZ 2012 Davos-Sedrun“, um den Kronenvolumenzuwachs zu erklären, enthält die Variablen Ausgangshöhe, potenzielle Junisonnenscheindauer, Schneeschimmel, Konkurrenzfreiheit auf halber Baumhöhe und Exposition und hat einen AIC von 1030 mit 302 gemessenen Bäumen. Werden die Regionen separat betrachtet, so ist ersichtlich, dass die Ausgangshöhe (relative Wichtigkeit 1.00) und die potenzielle Junisonnenscheindauer (0.99) für das „Modell KVZ 2012 Davos“ sowie auch für das „Modell KVZ 2012 Sedrun“ (Ausgangshöhe: 1.00, potenzielle Junisonnenscheindauer: 0.90) sehr wichtig sind. Der Befall von Schneeschimmel (1.00) ist jedoch für das „Modell KVZ 2012 Sedrun“ viel wichtiger, um den Kronenvolumenzuwachs zu erklären, als für das „Modell KVZ 2012 Davos“ (0.36). Zusätzlich ist für das „Modell KVZ 2012 Sedrun“ die Höhe über Meer (0.47) wichtiger als für das „Modell KVZ 2012 Davos“ (0.28). Im „Modell KVZ 2012 Davos“ hingegen sind die Überschirmung (0.56) und die Exposition (0.37) wichtiger (Sedrun: Überschirmung: 0.25, Exposition: 0.17).

Das beste „Modell KVZ 2012 Davos“, beinhaltet Ausgangshöhe, potenzielle Junisonnenscheindauer, Überschirmung und Konkurrenzfreiheit als Prädiktoren. Das Modell hat einen AIC von 572.4 bei 169 gemessenen Bäumen. Das beste „Modell KVZ 2012 Sedrun“ enthält die erklärenden Variablen Ausgangshöhe, potenzielle Junisonnenscheindauer, Höhe über Meer, Schneeschimmel und Konkurrenzfreiheit. Der AIC dieses Modells beträgt 493.2 mit 133 gemessenen Bäumen.

Die „Modelle KVZ 2012“ und die „Modelle KVZ 2002“ unterscheiden sich vor allem in der Wichtigkeit der Variablen Exposition, Verbiss und Konkurrenzfreiheit. Die Exposition (durchschnittlich 0.73) und der Verbiss (durchschnittlich 0.75) sind für die „Modelle KVZ 2002“ viel wichtiger als für die „Modelle KVZ 2012“ (Exposition: 0.36, Verbiss: 0.31). Die Konkurrenzfreiheit (durchschnittlich 0.78) ist jedoch für die „Modelle KVZ 2012“ um ein Vielfaches wichtiger als für die „Modelle KVZ 2002“ (durchschnittlich 0.28) (siehe Tabelle 14).

Das „Modell KVZ 2002 Davos-Sedrun“ mit den Variablen Ausgangshöhe, direktes Licht, Schneeschimmel, Verbiss und Exposition erklärt den Kronenvolumenzuwachs am besten. Dieses Modell hat einen AIC von 1017 mit 302 gemessenen Bäumen. Werden die Regionen separat

betrachtet, zeigt sich, dass das direkte Licht (1.00) und die Exposition (0.94) für das „Modell KVZ 2002 Davos“ wichtigere Prädiktoren sind als für das „Modell KVZ 2002 Sedrun“ (direktes Licht: 0.73, Exposition: 0.28). Im „Modell KVZ 2002 Davos“ ist wiederum die Hangneigung (0.49) wichtiger als im „Modell KVZ 2002 Sedrun“ (0.25). Das beste „Modell KVZ 2002 Sedrun“ enthält die Variablen Ausgangshöhe, direktes Licht, Schneeschimmel und Verbiss. Der AIC dieses Modells beträgt 482 mit 133 gemessenen Bäumen. Das beste „Modell KVZ 2002 Davos“ enthält zusätzlich die Hangneigung und die Exposition als Prädiktoren. Es hat einen AIC von 562.7 mit 169 gemessenen Bäumen. Die „Modelle KVZ 2002“ haben durchwegs einen kleineren AIC (Davos-Sedrun: 1017, Davos: 562.7, Sedrun: 482) als die „Modelle KVZ 2012“ (Davos-Sedrun: 1030, Davos: 572.4, Sedrun: 493.2). Der Korrelationskoeffizient r der Pearson-Korrelationen der Kronenvolumenzuwachsmodele ist insgesamt etwas mehr als 0.80. Die Korrelationskoeffizienten r der Validierung der Modelle (r (Validierung)) sind insgesamt etwa 0.3 und zeigen, dass die Modelle mit neuen Daten den Kronenvolumenzuwachs weniger gut erklären können. Alle Kronenvolumenzuwachsmodele können die Daten mit einer Abweichung (RMSE) von etwa 7.5 cm^3 voraussagen. Die Wurzel aus dem mittleren Quadrat des Vorhersagefehlers der Validierung (RMSE (Validierung)) ist allerdings um ein 6'000-faches grösser. Das heisst neue Daten können nur mit einer grösseren Abweichung von den tatsächlichen Werten und deshalb ungenauer vorausgesagt werden.

Tabelle 14 Relative Wichtigkeit der Variablen für die Modelle mit der Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006).

| Relative Wichtigkeit der Variablen: | | | | | | |
|---|-----------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
| Modelle mit Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs | | | | | | |
| Variablen | Modell KVZ 2012 | | | Modell KVZ 2002 | | |
| | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun | Davos-Sedrun | Davos | Sedrun |
| Ausgangshöhe | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 | 1.00 | 0.99 | 0.90 | | | |
| Direktes Licht 2002 | | | | 1.00 | 1.00 | 0.73 |
| Höhe über Meer | 0.47 | 0.28 | 0.47 | 0.29 | 0.24 | 0.31 |
| Exposition | 0.55 | 0.37 | 0.17 | 0.96 | 0.94 | 0.28 |
| Region | 0.31 | | | 0.32 | | |
| Überschirmung | 0.41 | 0.56 | 0.25 | | | |
| Schneeschemmel 2012 | 1.00 | 0.36 | 1.00 | | | |
| Schneeschemmel 2002 | | | | 1.00 | 0.98 | 0.94 |
| Verbiss 2012 | 0.37 | 0.28 | 0.28 | | | |
| Verbiss 2002 | | | | 0.90 | 0.73 | 0.63 |
| Konkurrenzfreiheit auf halber Baumhöhe 2012 | 0.96 | 0.75 | 0.63 | | | |
| Konkurrenzfreiheit am Boden 2002 | | | | 0.25 | 0.26 | 0.33 |
| Hangneigung | 0.31 | 0.31 | 0.26 | 0.30 | 0.49 | 0.25 |

Tabelle 15 Zusammenfassung der statistischen Kennzahlen der besten Modelle mit der Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs. Die Daten vom Jahr 2002 wurden übernommen von Cunningham et al. (2006).

| Modelle mit Zielvariable jährlicher Kronenvolumenzuwachs | | | | | | |
|---|------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Statistische Kennzahlen | Modell KVZ 2012 | | | Modell KVZ 2002 | | |
| | Davos- Sedrun | Davos | Sedrun | Davos- Sedrun | Davos | Sedrun |
| n | 302 | 169 | 133 | 302 | 169 | 133 |
| AIC | 1030 | 572.4 | 493.2 | 1017 | 562.7 | 482 |
| r | 0.85 | 0.88 | 0.81 | 0.85 | 0.89 | 0.79 |
| RMSE | 7.65 | 7.73 | 7.55 | 7.65 | 7.73 | 7.55 |
| r (Validierung) | 0.33 | 0.30 | 0.34 | 0.31 | 0.29 | 0.27 |
| Konfidenzintervall | 0.319; 0.348 | 0.286; 0.310 | 0.322; 0.349 | 0.292; 0.333 | 0.260; 0.310 | 0.259; 0.287 |
| RMSE (Validierung) | 45420.29 | 42677.63 | 47692.44 | 53460.77 | 55411.50 | 55669.93 |
| Konfidenzintervall | 44118.60; 47160.56 | 41870.67; 43903.70 | 46252.31; 49229.32 | 51242.79; 55867.32 | 53031.58; 59396.12 | 53025.73; 58938.26 |
| Parameter | | | | | | |
| Achsenabschnitt | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | 0.003135 ** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** |
| Ausgangshöhe | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** | < 2e-16 *** |
| Potenzielle Junisonnenscheindauer 2012 | 0.000197 *** | 0.000625 *** | 0.016236 * | | | |
| Direktes Licht 2002 | | | | 9.15e-05 *** | 8.02e-05 *** | 0.06505 . |
| Höhe über Meer | | | 0.169212 | | | |
| Schneeschemmel 2012 | 0.000128 *** | | 0.000171 *** | | | |
| Schneeschemmel 2002 | | | | 6.00e-06 *** | 0.00193 ** | 0.00358 ** |
| Überschirmung | | 0.076941 . | | | | |
| Verbiss 2002 | | | | 0.01085 * | 0.04327 * | 0.05550 . |
| Hangneigung | | | | | 0.16377 | |
| Konkurrenzfreiheit auf halber Baumhöhe 2012 | 0.004930 ** | 0.048309 * | 0.070654 . | | | |
| Exposition Nord | 0.424709 | | | 0.73031 | 0.25062 | |
| Exposition Süd | 0.011536 * | | | 0.00705 ** | 0.08480 . | |
| Exposition West | 0.450596 | | | 0.98653 | 0.13286 | |

Signifikanzen: <0.001 '***' <0.01 '**' <0.05 '*' <0.1 '.'

4. Diskussion

4.1. Wiederfindungsrate

Insgesamt wurden ca. 60% der Bäume wiedergefunden. Diese recht geringe Wiederfindungsrate kann verschiedene Gründe haben. An Transektpunkten ohne Recco-Reflektor wurden deutlich weniger Bäume gefunden als an Punkten mit Recco-Reflektor. Eindeutige Sicherheit, dass der Transektpunkt richtig geortet wurde, gab es erst, wenn ein Baum mit einer Nummer oder ein Recco-Reflektor gefunden wurde. Fehlten diese und wurden keine Bäume gefunden, so war unklar, ob der Transektpunkt richtig geortet wurde, zumal die Koordinatenangaben bei einigen Punkten um mehr als 100 m verschoben waren. Das Auffinden dieser Transektpunkte war mit sehr grossem Zeitaufwand verbunden. Insgesamt hatten etwas mehr als $\frac{1}{4}$ der Transektpunkte keine Recco-Reflektoren. An den Osthängen in Davos fehlten Recco-Reflektoren bei 24 (von 27) Transektpunkten.

Eine weitere Erklärung für die geringe Wiederfindungsrate sind abgefallene Nummernschilder. Die meisten Nummernschilder, die lose auf dem Boden gefunden wurden, gehörten zu A-Bäumen. Da die Nummernschilder meist an den untersten Ästen befestigt waren, waren sie bei den kleinsten Bäumen oft von einer Streu- oder Moosschicht bedeckt, was das Finden dieser Bäume zusätzlich erschwerte (siehe Abbildung 27). Ausserdem waren die Bäume teilweise weiter vom Punktzentrum entfernt (bis zu 30 m) als die in Cunningham et al. (2006) beschriebenen 10 m.



Abbildung 27 Ausgraben einer Nummer mit Recco-Reflektor unter einer ca. 10 cm dicken Streuschicht (eigene Darstellung).

Ein weiterer möglicher Grund, weshalb viele Bäume nicht wiedergefunden wurden, ist, dass Bäume abgestorben sind und in der Zwischenzeit verrottet oder weggetragen wurden (siehe dazu auch Kapitel 4.3 Mortalität).

Zudem befanden sich einige Transektpunkte in Seillinien oder in Holzschlägen (3.7% der Bäume). An diesen Punkten wurden die markierten Bäume wahrscheinlich unter anderen Bäumen vergraben, die Bäume sind bei den Holzerarbeiten ausgerissen oder die Nummernschilder sind abgerissen worden (siehe Abbildung 28).

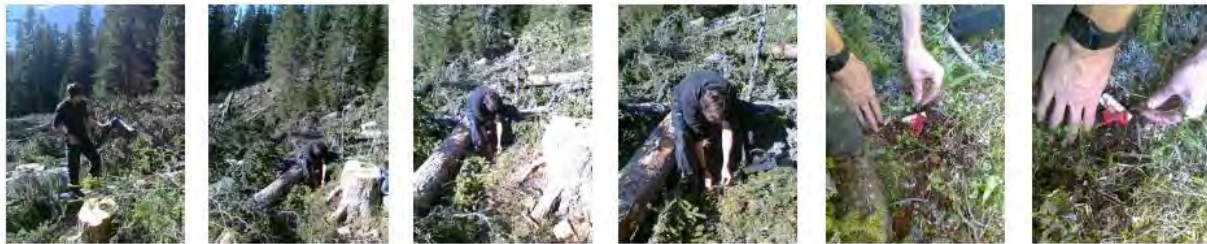


Abbildung 28 Aufsuchen eines Baumes im frischen Holzschlag. Ohne Recco-Reflektor sind solche Bäume nur mit etwas Glück zu finden (eigene Darstellung).

Obwohl insgesamt viele Bäume nicht wiedergefunden wurden, konnten einige Bäume gefunden werden, welche Cunningham et al. (2006) bereits während den drei Jahren Feldarbeit nicht wiedergefunden hatte. Die Wiederfindungsrate hängt vor allem von den Transekten selbst und vom Gelände ab. Am Nordhang in Davos wurden wahrscheinlich prozentual am meisten Bäume wiedergefunden (70.9%), weil an diesen Transekten viele Recco-Reflektoren vorhanden waren. In Sedrun wurden prozentual am meisten Bäume am Südhang gefunden (56.4%). Wahrscheinlich weil der Südhang im oberen Teil sehr einfach begehbar, offen und übersichtlich ist. Schmid (2011) hat bei einer Voruntersuchung einiger Transekte in Sedrun, welche in dieser Arbeit noch einmal aufgesucht wurden, ebenfalls nur 51% der Bäume wiedergefunden. Dies unterstützt die Vermutung, dass die Wiederfindungsrate vor allem von den Transekten selbst und nicht von den beteiligten Personen oder der Witterung abhängig ist. Dass die Wiederfindungsrate auch mit der Übung beim Suchen der Bäume zusammenhängt, wie von Schmid (2011) in seiner Arbeit angenommen wird, kann jedoch nicht bestätigt werden.

Es wurden prozentual nur halb so viele A-Bäume wiedergefunden wie B- oder C-Bäume. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die kleinsten Bäume schwieriger zu sehen sind, die Nummernschilder leichter abfallen können und die kleinsten Bäume eher sterben und verrotten oder weggetragen werden. Tatsächlich wurden doppelt so viele lose Nummernschilder von A-Bäumen gefunden als von B- oder C-Bäumen. Zudem gehören sieben der 16 tot aufgefundenen Bäume der Höhenklasse A an.

4.2. Folgeaufnahme in zehn Jahren

Im Folgenden werden Probleme einer potenziellen Folgeaufnahme in zehn Jahren diskutiert und die Methoden kritisch besprochen. Es werden zudem mögliche Verbesserungsvorschläge gemacht, vor allem im Hinblick auf eine potenzielle Wiederholung der Feldaufnahmen in zehn Jahren.

Falls die Feldaufnahmen in zehn Jahren wiederholt werden, müsste man wiederum mit einer kleineren Anzahl gefundener Bäume rechnen. Angenommen die Wiederfindungsrate in zehn Jahren würde wiederum 60% betragen, würden nur noch 201 Bäume gefunden. Allerdings kann aufgrund der einheitlichen Markierung der Bäume, der Platzierung von mindestens einem Recco-Reflektor pro Transektpunkt und den Skizzen zu den Transektpunkten (siehe Anhang A 3) davon ausgegangen werden, dass die Wiederfindungsrate in zehn Jahren vermutlich höher sein wird als 60%. Allerdings wird auch in den nächsten zehn Jahren entlang neuer Seillinien geholt. Zwischen 2002 und 2012 konnten ca. 4% der Bäume deshalb nicht mehr aufgefunden werden. Schätzungsweise würden bei einer Wiederaufnahme in zehn Jahren nur fünf tote Bäume gefunden, unter der Annahme, dass wiederum nur 2.5% aller gefundenen Bäume tot sind. Aus diesen Gründen sollte eine Wiederaufnahme in zehn Jahren gut überdacht werden.

Bezüglich der Methoden könnten verschiedene Verbesserungen vorgenommen werden. Um die Vegetationskonkurrenz noch genauer wiederzugeben, könnte die Methode für die Messung der Konkurrenzsituation angepasst werden, indem die Baumhöhe mitberücksichtigt wird. Der Kreis, in welchem die Vegetation beurteilt wird, sollte der Baumhöhe angepasst werden. Das heisst bei einem 130 cm grossen Baum würde die Vegetationskonkurrenz auf einer Kreisfläche mit einem Radius von 130 cm (=Baumhöhe) betrachtet. Dadurch wird eher gewährleistet, dass die Vegetation, die in direkter Konkurrenz zum Baum steht, auch aufgenommen wird. Die Bäume konkurrieren jedoch auch mit alten, grossen Bäumen, beispielweise im Wurzelraum. Dies sollte ebenfalls berücksichtigt werden. Mit diesen weiteren Angaben kann die Konkurrenzsituation genauer erfasst werden, zumal die Konkurrenzfreiheit ein wichtiger Prädiktor für den Kronenvolumenzuwachs ist (siehe auch Tabelle 14).

Bei der Erfassung der Mikrotopografie um die gemessenen Bäume wurden die meisten aufgenommenen Fichten als „in einer Ebene wachsend“ klassiert. Nur wenige Bäume befinden sich gemäss den angewandten Klassierungskriterien auf einer Kuppe oder in einer Mulde. Aufgrund dieser geringen Anzahl Bäume auf Kuppen bzw. in Mulden kann die Mikrotopografie nicht als Prädiktor für die Höhenzuwachs- und Kronenvolumenzuwachsmodele berücksichtigt werden. Die Mikrotopografie ist jedoch gemäss Ott et al. (1997) ein wichtiger Faktor für die Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald. Um die Mikrotopografie genauer messen zu können, könnte die

Definition angepasst werden und bereits kleinere Erhebungen bzw. Senkungen als Kuppe bzw. Mulde bezeichnet werden. Es wäre auch möglich zusätzliche Parameter einzuführen, beispielsweise Muldenrand, Runse, Kante, etc. Allerdings sind zu viele Parameter für die nachfolgende statistische Auswertung heikel, da gewährleistet werden muss, dass für alle gemessenen Parameter genügend Beobachtungen vorhanden sind. Ansonsten können keine statistisch haltbaren Aussagen gemacht werden.

4.3. Mortalität

Die Leitfrage 1) „Kann mit den gemessenen Daten die Mortalität der Bäume erklärt werden?“ kann mit den erhobenen Daten nicht beantwortet werden. Weil nur 16 tote Bäume wiedergefunden wurden, sind kaum statistisch haltbare Aussagen über die Gründe für die Mortalität der untersuchten Fichtenverjüngung möglich. Von den gefundenen toten Bäumen, waren sieben an Südhängen in Sedrun und fünf an Südhängen in Davos. Das heisst die meisten gefundenen toten Bäume befanden sich an Südhängen. Gemäss Brang (1996; 1998) und Ott et al. (1997) ist die Wasserverfügbarkeit an Südhängen von subalpinen Gebirgswäldern oft ein limitierender Faktor für die Verjüngung. Der jährliche Höhenzuwachs der untersuchten Verjüngung ist an südexponierten Hängen am geringsten, allerdings nicht signifikant. Dies könnte auf Trockenheitsstress für die Bäume an Südhängen hinweisen. Untersuchungen von Streit et al. (2009) bekräftigen diese Vermutung, indem sie gezeigt haben, dass die Fichtenverjüngung in südexponierten Lücken nahe der unteren Lückengrenze, welche weniger direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, am dichtesten war. An Südhängen in Sedrun wurde zudem eine längere potenzielle Junisonnenscheindauer als in Davos gemessen. Das könnte erklären, warum am meisten tote Bäume in Sedrun an Südhängen gefunden wurden. Auch Frehner (2001) konnte zeigen, dass die Mortalität von Fichtenverjüngung am Südhang nach drei Jahren etwa doppelt so hoch war wie am Nordhang auf entsprechender Höhe.

Es ist anzunehmen, dass weit mehr als 2.5% der gefundenen Bäume zwischen 2002 und 2012 gestorben sind. Es lässt sich allerdings nicht sagen wie viele der 40% nicht wiedergefundenen Bäume in den letzten zehn Jahren gestorben und deshalb nicht mehr auffindbar sind (sei dies, weil der ganze Baum weg oder nur die Nummer abgefallen ist). Daher ist es schwierig abzuschätzen wie viele der nicht gefundenen Bäume tatsächlich gestorben sind, zumal keine deutlichen Muster zwischen den Gruppen der toten Bäume, der lebenden Bäume und der nicht mehr gefundenen Bäume erkennbar sind.

Streit et al. (2009) haben in ihrer Untersuchung von natürlicher Fichtenverjüngung im Vorderrheintal zwischen 2001 und 2006 eine Mortalitätsrate von 53% festgestellt. Jedoch handelt

es sich hierbei um Fichtenverjüngung, die kleiner als 10 cm ist. Wird Fichtenverjüngung direkt unter alter Fichten (*Picea abies*) gepflanzt, beträgt die Mortalität zehn Jahre nach der Pflanzung fast 100% (Frehner, 2001). Nach fünf Jahren betrug die durchschnittliche Mortalität am Nordhang 12% und nach drei Jahren am Südhang 15% (Frehner, 2001). Allerdings ist es möglich, dass die Mortalitätsrate bei gepflanzter Verjüngung tendenziell grösser ist als bei Naturverjüngung, da Pflanzungen grundsätzlich auch an verjüngungsungünstigen Standorten gemacht werden könnten. Für Fichtenverjüngung zwischen 10 und 129 cm rechnen Streit et al. (2009) mit einer Mortalitätsrate von 20%. Laut Hanssen (2003) und Bachofen (2007) nimmt die Mortalitätsrate mit dem Alter der Verjüngung ab. Die Ergebnisse dieser Studien bestätigen die Annahme, dass in den letzten zehn Jahren mehr als nur 16 junge Fichten ausgefallen sind. Wie viele genau lässt sich aber aufgrund der oben genannten Erklärungen nicht ermitteln.

Ein weiterer Mortalitätsfaktor könnte der Befall von schwarzem Schneeschimmel sein (Ott et al., 1997). In einer Studie mit gepflanzten Fichten und Lärchen in den Voralpen konnte Wasem (2008) zeigen, dass an Stellen, an denen der Schnee im Frühjahr lange liegen blieb, häufige Ausfälle durch schwarzen Schneeschimmel zu verzeichnen waren. In den ersten Jahren der Pflanzungen war schwarzer Schneeschimmel die Hauptursache der hohen Mortalität (Wasem, 2008). In der Studie von Frehner (2001) war schwarzer Schneeschimmel für 36% der ausgefallenen Bäume verantwortlich und ebenfalls die häufigste bekannte Todesursache. Auch Imbeck & Ott (1987) nennen Schneeschimmel als die wichtigste bekannte Todesursache für junge Fichten. In der vorliegenden Studie war die Krone im Jahr 2002 allerdings nur bei vier der 16 toten Bäume zu mehr als 30% mit Schneeschimmel befallen.

Verbiss wird in der Literatur ebenfalls als Mortalitätsursache genannt (Eiberle, 1989; Rüegg, 1999; Schweizerischer Forstverein, 2002; Vandenberghe et al., 2008). Die kritische Verbissintensität der Fichte liegt laut Eiberle & Nigg (1987) bei 12%. Wenn die kritische Verbissintensität überschritten wird, erleiden die einzelnen Bäume durchschnittlich einen Höhenzuwachsverlust von 25%. Bei einem solchen verbissbedingten Höhenzuwachsverlust sterben einige Bäume ab (Schweizerischer Forstverein, 2002). Gemäss Eiberle (1989), Rüegg (1999) und Rüegg & Nigg (2003) kann die wildtierbedingte Mortalität aufgrund des Verhältnisses zwischen Verbissintensität und Ausfall der Verjüngung berechnet werden. In Sedrun ist die Verbissintensität der untersuchten Bäume mit durchschnittlich 11% etwas unterhalb der laut Eiberle & Nigg (1987) postulierten kritischen Verbissintensität. In Davos wird sie mit durchschnittlich 15% überschritten. Bei einer Verbissintensität von 15% liegt die wildtierbedingte Mortalität der Fichte gemäss Eiberle (1989) und Rüegg (1999) bei 22%. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen Höhenzuwachsverlust und wildtierbedingter Mortalität laut dem schweizerischen Forstverein (2002) in Gebieten in

montaner Lage untersucht worden, die zum Teil sehr ungünstigen Wuchsbedingungen aufwiesen, wie etwa unter „dicht geschlossenem Altholz“. In vorliegender Studie konnte nicht nachgewiesen werden, dass 2002 verbissene Bäume, einen Höhenzuwachsverlust erlitten im Vergleich zu nicht verbissenen Bäumen. Im Gegenteil, die im Jahr 2002 verbissenen Bäume wiesen einen signifikant grösseren Höhenzuwachs auf als solche, die nicht verbissen wurden.

Die gefundenen toten Bäume hatten im Jahr 2002 signifikant weniger direktes Licht zur Verfügung im Vergleich zu den lebenden Bäumen. Direktes Licht bzw. potenzielle Junisonnenscheindauer stellt zusammen mit der Ausgangshöhe den wichtigsten Faktor dar, um den Höhenzuwachs zu beschreiben (siehe Kapitel 3.8 Modelle und Tabelle 12). Die verfügbare direkte Sonneneinstrahlung ist ein limitierender Faktor für das Wachstum der Fichtenverjüngung in den nördlichen Zwischenalpen (Brang, 1998; Imbeck & Ott, 1987; Frehner, 1989; Cunningham et al., 2006). In der Ansamungs- und Anwuchsphase auf subalpiner Stufe an nordexponierten Hängen brauchen Fichten mindestens 1.5 bis 2 Stunden potenzielle Sonnenscheindauer (Ott et al., 1997). Später in der Aufwuchsphase (40-12 cm BHD) braucht die Fichte auf subalpiner Höhenstufe 2 bis 3 Stunden Junisonne (Frehner et al., 2005; Ott et al., 1997). Der Mittelwert der potenziellen Junisonnenscheindauer der toten Bäume beträgt 2.4 Stunden, derjenige der lebenden Bäume 4.5 Stunden. Das heisst Lichtmangel könnte ein möglicher Grund sein für die Mortalität der gefundenen toten Bäume.

Die tot aufgefundenen Bäume wuchsen an signifikant steileren Hängen (durchschnittlich 34.8°) als die lebenden Bäume (durchschnittlich 30.4°). An steilen Lagen ist die Wahrscheinlichkeit von Schneegleiten und Lawinen grösser als an flachen Hängen (Munter, 2003). Typische Gleitschneestandorte sind südexponierte Hänge mit Neigungen zwischen 28° und 50° (Wasem, 2008; Ott et al., 1997). Dies kann ein weiterer möglicher Grund dafür sein, dass fast die Hälfte der toten Fichten an Südhängen in Sedrun und Davos gefunden wurden. Die erhöhte Gefährdung der Fichten an steilen Lagen bei Lawinenniedergängen, Schneerutschen oder -gleiten usw. ausgerissen zu werden, lässt sich durch ihre flache Verwurzelung (Flachwurzler) erklären (Professur für Forstschutz & Dendrologie der ETH Zürich, 2002).

4.4. Höhen- und Kronenvolumenzuwachs

Die untersuchten Bäume sind pro Jahr durchschnittlich 5.3 cm gewachsen. In Frehners Dissertation (2002) wuchs die gepflanzte Fichtenverjüngung im Durchschnitt über alle Stützpunkte zwischen 3.4 und 4.0 cm pro Jahr. Das heisst, die Fichtenverjüngung in der vorliegenden Studie ist deutlich besser gewachsen. Allerdings war die Ausgangshöhe der gepflanzten Fichten bei Frehner (2002), durchschnittlich zwischen 14 und 15.2 cm hoch und somit

deutlich kleiner als die hier untersuchten Fichten. Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangshöhen ist der Höhenzuwachs der beiden Studien deshalb nur bedingt vergleichbar. Zudem ist es möglich, dass gepflanzte Fichtenverjüngung im Vergleich zu Naturverjüngung einen geringeren Höhenzuwachs aufweist, weil Fichten auch an verjüngungsungünstigen Standorten gepflanzt werden können. Lüscher (1990) konnte zeigen, dass Fichtenverjüngung an einem nordexponierten Hang im Unterengadin durchschnittlich 8.7 cm pro Jahr gewachsen ist. Dabei waren die Fichten durchschnittlich 100 cm hoch. Kreiliger (1992) konnte zeigen, dass Fichtenverjüngung an südexponierten Hängen bei Disentis einen durchschnittlichen Höhenzuwachs von 7 bis 8 cm pro Jahr hatte. Diese Werte aus der Untersuchung von Kreiliger (1992) sind somit höher als die Werte der vorliegenden Arbeit. Allerdings hat Kreiliger (1992) Fichten untersucht, die zwischen 80 cm und 3 m hoch und herrschend bis vorherrschend waren, was zu den unterschiedlichen Höhenzuwachswerten führen könnte.

Wie erwartet ist der Höhenzuwachs sowie der Kronenvolumenzuwachs von der Ausgangshöhe abhängig (Lüscher, 1990). Demnach ist nicht verwunderlich, dass der absolute Höhenzuwachs der C-Bäume am grössten ist. Allerdings ist der relative Höhenzuwachs bei A-Bäumen signifikant grösser als bei C-Bäumen. Das bedeutet, dass die untersuchten Bäume weder ein exponentielles noch ein lineares Wachstum aufweisen. Bei linearem Wachstum wäre der absolute Höhenzuwachs über alle Baumhöhen gleich und bei exponentiellem Wachstum wäre der relative Höhenzuwachs über alle Baumhöhen gleich. Beides trifft bei den untersuchten Bäumen nicht zu (siehe auch Abbildung 23). Werden die Bäume in ihre Höhenklassen aufgeteilt, so wachsen A- und B-Bäume beinahe linear, wobei C-Bäume exponentiell wachsen. Laut der Literatur wachsen Bäume gemäss einer logistischen Wachstumsfunktion (Bugmann, 2012). Eine mögliche Ursache für die Beobachtung, dass die A- und B-Bäume in den letzten zehn Jahren linear gewachsen sind, könnte sein, dass sie zu diesem Zeitpunkt ihrer Entwicklung mehr ins Wurzelwachstum investieren als in den Höhenzuwachs. Gemäss Lüscher (1990) sind Wurzelfläche und -masse bei Bäumen von 70 bis 80 cm Höhe sehr gering. Bei Bäumen mit 150 bis 200 cm Höhe sind die Wurzeln hingegen bis zu 100 m lang und die Wurzelfläche kann über 10 m² aufweisen. Die Bäume investieren mehr in den Höhenzuwachs als ins Wurzelwachstum wenn sie noch klein sind, die Wurzeln der grösseren Verjüngung wachsen jedoch „überproportional zum Spross“ (Lüscher, 1990). Das nicht exponentielle Wachstum der A- und B-Bäume, deutet darauf hin, dass sie mehr ins Wurzelwachstum investieren.

Bei einigen Bäumen war der Draht, das Nummernschild, der Recco-Reflektor oder der Temperaturmesser im Stamm eingewachsen. Es waren beginnende Überwallungen sichtbar, die zum Teil soweit fortgeschritten waren, dass der Draht nicht mehr entfernt werden konnte

(vergleiche dazu Abbildung 29 & Abbildung 30). Diese Verletzungen der Bäume durch die Markierung könnten einen Einfluss auf deren Zuwachs und Vitalität haben. Allerdings waren nur wenige Bäume davon betroffen und statistisch konnte kein Effekt nachgewiesen werden.

Während der Feldarbeit war es auffällig, dass Cunningham et al. (2006) mehrheitlich alleinstehende Bäume für die Untersuchung ausgewählt hatten. Diese verhalten sich möglicherweise im Höhen- und Kronenvolumenzuwachs anders als solche, die in Gruppen stehen.



Abbildung 29 Beginnende Überwallung einer Nummer mit Recco-Reflektor (eigene Darstellung).



Abbildung 30 Teilweise überwallter Temperaturmesser (eigene Darstellung).

4.5. Vitalität 2002 und 2012

Die Vitalität umschreibt gemäss Leibundgut (1978) den Gesundheitszustand eines Baumes. Bäume mit einer kräftigen Krone haben demnach eine „üppige“ (hohe) Vitalität. Bäume mit vergilbten oder spärlichen Blattorganen hingegen, weisen eine „kümmernde“ (geringe) Vitalität auf (Leibundgut, 1978). Diese Kriterien sind jedoch nur schwer objektiv zu erheben. Auch Dobbertin (2005) beschreibt in einem Übersichtsartikel über die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf den Zustand der Wälder, unter anderem auch auf die Vitalität der Bäume und die Schwierigkeit die Vitalität zu erfassen. Die Vitalität der Bäume kann nicht direkt gemessen werden. Stattdessen werden Indikatoren wie beispielsweise das Baumwachstum verwendet (Dobbertin, 2005). In der vorliegenden Arbeit wird die Vitalität der Bäume deshalb mit dem jährlichen relativen Endtriebwachstum approximiert.

Die Vitalität der untersuchten Bäume, gemessen am relativen jährlichen Endtriebwachstum, hat

von 2002 bis 2012 zugenommen. Somit kann Leitfrage 4) „Wie hat sich die Vitalität der untersuchten Bäume in den letzten zehn Jahren verändert?“ anhand dieser Resultate beantwortet werden. Der hier verwendete Indikator für die Vitalität widerspiegelt jedoch nur einen Teil der tatsächlichen Vitalität der Bäume. Um weitere Aussagen über die Vitalität der Bäume machen zu können, müssten mehr Indikatoren aufgenommen werden.

4.6. Licht

Die Lichtverhältnisse haben sich für die untersuchten Bäume in den Jahren von 2002 bis 2012 verändert. Im Jahr 2012 ist die potenzielle Junisonnenscheindauer für die gemessene Fichtenverjüngung kürzer als vor 10 Jahren. Das heisst die Bestände sind dunkler geworden. Eine Lücke im Bestand bringt direktes Licht bis zum Boden. Natürliche Fichtenverjüngung nutzt das Zeitfenster einer Bestandeslücke für den An- und Aufwuchs. Fichtenverjüngung braucht in der Ansamungs- und Anwuchsphase mindestens 1.5 bis 2 Stunden potenzielle Sonnenscheindauer (Ott et al., 1997). Die untersuchten Bäume sind in diesem Zeitfenster der Bestandeslücke gewachsen und nun schliesst sich die Lücke wieder, was anhand der Lichtmessungen beobachtet werden kann.

Es ist möglich, dass ein Teil der Unterschiede in den Lichtverhältnissen zwischen 2002 und 2012 durch die unterschiedlichen Messmethoden (Sonnenkompass bzw. Fischaugenfotos) zustande gekommen ist. Gemäss Diaci & Thormann (2002) stimmen verschiedene Messmethoden der Lichtmessung jedoch überaus gut miteinander überein. Allerdings wurde in den Studien von Diaci & Thormann (2002) die Fischaugenfotografie mit dem Horizontoskop und nicht mit dem Sonnenkompass verglichen. Frehner (2002) fand ebenfalls, dass die Messmethode mit dem Horizontoskop sehr gut mit der Messmethode mit Fischaugenfotos korreliert. Brang (1996) fand Korrelationen von 0.66 für südexponierte Hänge und 0.5 für nordexponierte Hänge zwischen direkter Strahlung gemessen mit einem Sonnenkompass und Fischaugenfotos. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der Unterschiede bezüglich der Lichtverhältnisse durch die unterschiedlichen Messmethoden zustande gekommen sind. Ein selbst durchgeführter Vergleich zwischen dem direkten Licht, gemessen mit Fischaugenfotos, und der potenziellen Junisonnenscheindauer, gemessen mit einem Sonnenkompass, zeigte jedoch eine hohe Korrelation zwischen diesen beiden Methoden (siehe Resultate 3.5 Licht). Es wäre auch möglich, dass einige Unterschiede in den Lichtverhältnissen dadurch zustande kamen, dass zwei verschiedene Personen die Lichtmessungen durchführten. Dieser Effekt wird aber im Vergleich zum Methodenunterschied als relativ klein eingeschätzt.

4.7. Verbiss

Laut dem LFI3 sind in den Alpen 5% der Fichten (*Picea abies*) in der Jungwald-Höhenklasse 10 bis 129 cm am Gipfeltrieb verbissen (Brändli, 2010). In der Wirtschaftsregion Graubünden wird die Verbissintensität im LFI3 zwischen 5.1 und 10.0% geschätzt, wobei 2'400 Bäume pro ha der Jungwald-Höhenklasse 10 bis 129 cm verbissen sind. Die in dieser Arbeit gemessenen Verbissintensitäten liegen mit 12 bis 14% etwas höher als vom LFI3 geschätzt. Die gemessenen Werte des LFI3 beziehen sich allerdings auf eine deutlich grössere Stichprobenfläche, weshalb sich die beiden Resultate nur bedingt miteinander vergleichen lassen. Cunningham et al. (2006) haben bei ihren Feldaufnahmen im Jahr 2002 eine Verbissintensität von 8% gemessen. Schmid (2011), der eine Folgeaufnahme einiger Transekte in Sedrun durchgeführt hat, hat eine Verbissintensität zwischen 17 und 21% gemessen. Die in vorliegender Studie gemessenen Werte liegen zwischen den Werten von Cunningham et al. (2006) und Schmid (2011).

Bissegger (1989) hat gezeigt, dass die Verbissbelastung im Uaul Surrein (einem Teilgebiet dieser Studie in Sedrun) im Jahr 1987 für die Fichte 52% betrug. Kupferschmid & Bugmann (2005) fanden, dass die 50% der Fichtenverjüngung in montaner Stufe verbissen wurde, während auf subalpiner Höhenstufe circa 25% der Fichtenverjüngung verbissen wurde.

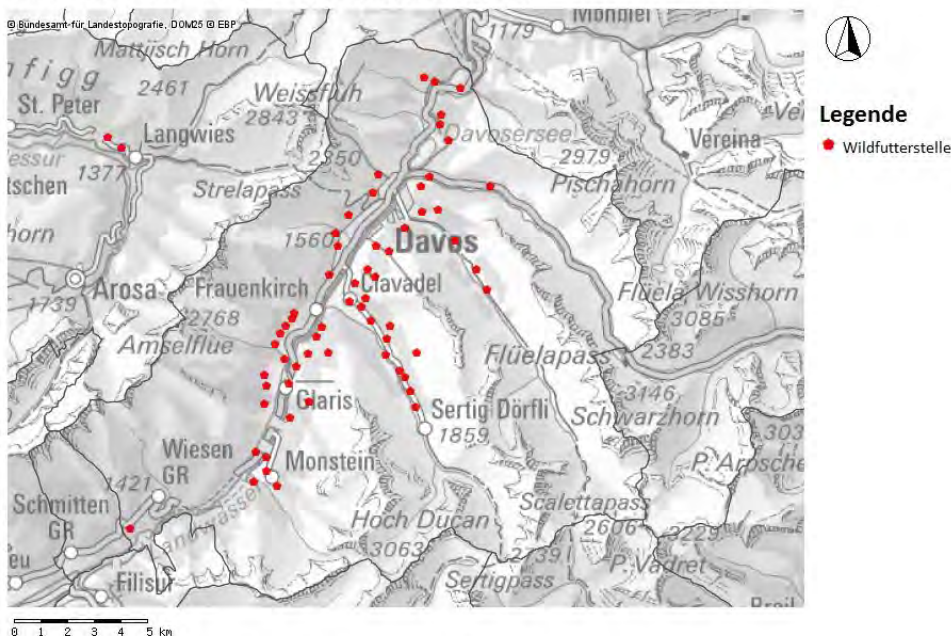
Thomas (2013) konnte in ihren Untersuchungen in Sedrun jedoch lediglich eine Verbissbelastung von weniger als 1% messen. Diese Werte sind deutlich tiefer als die Werte der vorliegenden Arbeit. Allerdings erfasste Thomas (2013) die gesamte Verjüngung, die in den 91 Stichprobenpunkten mit 50.3 m² grosser Fläche standen, wobei fast doppelt so viele Fichten zwischen 10 und 39 cm hoch waren und nur circa halb so viele zwischen 40 und 129 cm. Bissegger (1989) konnte zeigen, dass Fichten und Vogelbeeren zwischen 10 und 130 cm ungefähr zu 74% verbissen werden, während Sämlinge unter 10 cm Höhe nur zu etwa 40% verbissen werden. Auch Wunder & Brang (2003) konnten zeigen, dass grössere Fichten häufiger verbissen werden als kleinere. In ihrer Studie wurden 10% der Bäume mit Höhe zwischen 10 und 40 cm verbissen, während nur 5% der Bäume mit Höhe unter 10 cm verbissen wurden (Wunder & Brang, 2003). Gemäss Hirsiger et al. (2013) wurden sogar 21% der Fichten zwischen 10 und 39 cm im selben Gebiet im Vorderrheintal verbissen.

Ein möglicher Grund dafür, dass Thomas (2013) im selben Untersuchungsgebiet (Sedrun) deutlich tiefere Verbisswerte gemessen hat, könnte sein, dass in ihrer Studie die meisten Bäume kleiner als 40 cm waren und kleinere Bäume gemäss der oben genannten Literatur weniger häufig verbissen werden. Die höhere Verbissintensität im Vergleich zu den Untersuchungen von Thomas (2013) könnte auch damit zusammenhängen, dass Cunningham et al. (2006) häufig alleinstehende Bäume

an Wildwechseln ausgewählt haben. Dies könnte zu einer Verzerrung der aufgenommenen Verbissintensität geführt haben, da die Wahrscheinlichkeit eines Verbisses direkt an einem Wildwechsel vermutlich höher ist als mitten im Wald. Zudem wäre es auch möglich, dass sich die Verbissansprache in den beiden Arbeiten unterscheiden und die Verbisswerte deshalb so unterschiedlich sind.

In Davos ist die Verbissintensität in den Jahren 2009 bis 2011 etwas höher (durchschnittlich 15%) als in Sedrun (durchschnittlich 11%). Rund um Davos sind einige Wildfutterstellen installiert, wohingegen es um Sedrun keine Wildfutterstellen gibt (siehe Abbildung 31 & Abbildung 32) (Kantonale Verwaltung Graubünden, 2013). Nach Angaben von Gabriel Monn, dem zuständigen Wildhüter des Jagdbezirks in Sedrun, lässt sich dies jedoch nicht zwingend auf einen höheren Bestand an Schalenwild zurückführen. Die Wildfutterstellen seien um Davos so zahlreich, weil sich dort das Wild sonst in die Täler und Dörfer verirrt, in denen viel Tourismus herrscht, und es deshalb nicht mehr zurück in den Wald findet (Monn, 2013). Der Bestand an Schalenwild ist seit 1990 im ganzen Kanton Graubünden ungefähr gleich geblieben, wobei der Bestand an Gämsen um einiges grösser ist als die Bestände von Hirsch und Reh (Brosi & Jenny, 2012). Auch die Bestände des Schalenwilds in Sedrun und Davos sind in den letzten Jahren stabil geblieben (Monn, 2013; Ambühl, 2013). Die Bestände des Schalenwilds können nur grob geschätzt werden, da sich die Jagdbezirke über grosse Distanzen erstrecken (Ambühl, 2013). Mit den erhobenen Daten kann also nicht erklärt werden, weshalb die Verbissintensität in Davos höher ist als in Sedrun.

Kartenausschnitt von Davos mit Wildfutterstellen



Quelle: © Kantonale Verwaltung Graubünden, GIS-Kompetenzzentrum, 2013

Abbildung 31 Wildfutterstellen um Davos.

Kartenausschnitt von Sedrun mit Wildfutterstellen

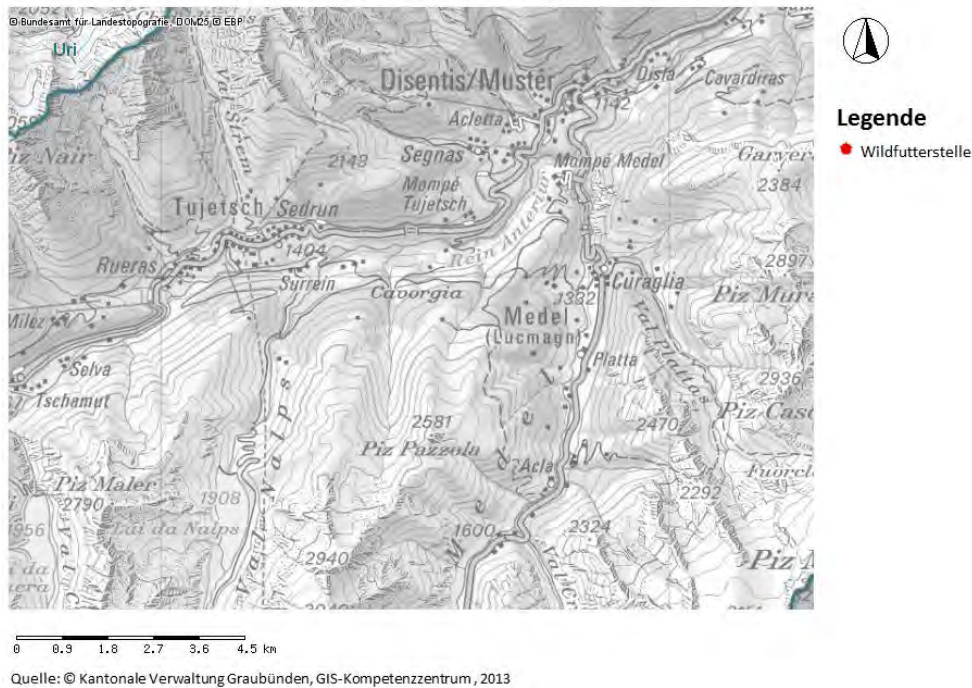


Abbildung 32 Um Sedrun gibt es keine Wildfutterstellen.

An Nordhängen ist die Verbissintensität in Davos und Sedrun am höchsten, an südexponierten Hängen tendenziell am geringsten (siehe auch Tabelle 9). Auch Hirsiger et al. (2013) zeigten in ihrer Studie, dass die Fichten in Schlitten am Nordhang signifikant häufiger verbissen wurden als solche am Südhang. Die Studie wurde im Bündner Vorderrheintal im Forstkreis Ilanz durchgeführt. Der Schaden, der durch Verbiss entstand, war in diesem Gebiet allerdings nicht problematisch (Streit et al., 2009).

Die gemessenen Verbisse von 2002 und 2011 sind Momentaufnahmen. Die Daten weisen jedoch darauf hin, dass verbissene Bäume eine grössere Wahrscheinlichkeit haben, wieder verbissen zu werden. Dies mag so sein, weil oft Bäume ausgewählt wurden, die an einem Wildwechsel stehen. Bäume, die zwischen 2009 und 2011 mindestens einmal verbissen wurden, hatten einen geringeren Höhenzuwachs als solche, die nie verbissen wurden. Jedoch hatten die Bäume, die 2002 verbissen wurden, einen signifikant grösseren Höhenzuwachs als die 2002 nicht verbissenen. Dies lässt darauf schliessen, dass die 2002 verbissenen Bäume den Höhenzuwachsverlust überkompensiert haben. Auch Kupferschmid & Bugmann (2013) konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass Tanne (*Abies alba*) nach einem simulierten Verbiss den Höhenverlust überkompensieren kann.

4.8. Schwarzer Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*)

An südexponierten Hängen in Sedrun sind die Bäume am stärksten von schwarzem Schneeschimmel befallen. Streit et al. (2009) konnten dies in ihren Untersuchungen im Forstkreis Ilanz im Vorderrheintal bestätigen. Auch Hirsiger et al. (2013) fanden, dass schwarzer Schneeschimmel am Südhang die häufigste Schadensursache war. Frehner (2002) fand, dass bei Fichten unter Schirm mehr schwarzer Schneeschimmel vorhanden ist als bei Fichten, die nicht überschirmt sind. Dies konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Die untersuchten Bäume zeigen signifikant weniger schwarzen Schneeschimmel wenn sie überschirmt sind.

4.9. Modelle zum Höhenzuwachs

Die Leitfrage 2) „Wie gut kann mit den im Jahr 2002 und 2012 gemessenen Umweltbedingungen der Höhenzuwachs bzw. der Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung von 2002 bis 2012 erklärt werden?“ kann wie folgt beantwortet werden. Die gemessenen Umweltbedingungen im Jahr 2002 können den Höhenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung gleich gut erklären wie die gemessenen Umweltbedingungen im Jahr 2012. Alle Höhenzuwachsmodele haben einen Korrelationskoeffizient r von ca. 0.8. Die Höhenzuwachsmodele können den Höhenzuwachs der Fichtenverjüngung mit einer Abweichung von etwa 0.5 cm voraussagen. Allerdings sind die Modelle nur bedingt geeignet, um den Höhenzuwachs von anderen Fichten vorauszusagen. Denn die Abweichung der vorausgesagten Werte zu den tatsächlichen Werten beträgt für neue Daten 4.3 bis 4.5 cm. Dadurch, dass die Bäume in Gebirgswäldern sehr heterogen sind, erscheint es plausibel, dass die Modelle den Höhenzuwachs neuer Bäume weniger gut vorhersagen können.

Der Verbiss ist für das „Modell HZW 2012 Davos“ sowie für das „Modell HZW 2002 Davos“ ein wichtigerer Prädiktor, um den Höhenzuwachs zu beschreiben, als für das „Modell HZW 2012 Sedrun“ bzw. das „Modell HZW 2002 Sedrun“. In Davos war die Verbissintensität tendenziell auch etwas grösser als in Sedrun. Vor allem der Verbiss 2002 scheint wichtig für den Höhenzuwachs zu sein. Der Verbiss 2002 ist doppelt so wichtig für das „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ wie der Verbiss 2012 für das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“, um den Höhenzuwachs der Fichten zu erklären. Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied in der Wichtigkeit des Verbisses könnte sein, dass Fichtenverjüngung, die 2002 verbissen wurde, einen signifikant grösseren Höhenzuwachs hatte als nicht verbissene. Dies entspricht genau dem Gegenteil von dem, was man vermuten würde. Nämlich, dass der Verbiss das Wachstum verlangsamt und sich der Höhenzuwachs dadurch verkleinert. Deshalb ist der Verbiss 2002 wichtiger um den

Höhenzuwachs zu erklären.

Konkurrenzfreiheit im Jahr 2002 ist als Prädiktor für das „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ wichtiger als Konkurrenzfreiheit im Jahr 2012 für das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“ um den Höhenzuwachs zu beschreiben. Dies macht Sinn, da die Bodenvegetationskonkurrenz vor allem bei kleiner Verjüngung, die der Vegetationskonkurrenz noch nicht entwachsen ist, ein Problem ist (Ott et al., 1997). Vor zehn Jahren waren die untersuchten Bäume im Durchschnitt 53 cm kleiner als 2012. Deshalb war die Konkurrenz 2002 ein grösseres Problem als 2012, wo viele Bäume der unmittelbaren Bodenvegetationskonkurrenz bereits entwachsen sind. Zudem wurde die Konkurrenz 2002 am Boden, 2012 auf halber Baumhöhe, gemessen. Diese Methodenunterschiede haben wahrscheinlich auch einen Einfluss auf das beschriebene Resultat. Denn Bäume, die 2002 am Boden keine Konkurrenz hatten, sind vermutlich in ihrem Wachstum weniger eingeschränkt als solche, die 2012 auf halber Baumhöhe keine Konkurrenz haben, jedoch in Bodennähe konkurrenziert werden.

Schwarzer Schneeschimmel 2002 ist als Prädiktor für das „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ dreimal wichtiger als schwarzer Schneeschimmel 2012 für das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“, um den Höhenzuwachs zu beschreiben. Bäume, die 2002 bereits mit Schneeschimmel befallen waren, waren in den letzten zehn Jahren vermutlich länger befallen als Bäume, an denen erst 2012 Schneeschimmelbefall gemessen wurde. Deshalb ist Schneeschimmel 2002 wichtiger für das „Modell HZW 2002 Davos-Sedrun“ als Schneeschimmel 2012 für das „Modell HZW 2012 Davos-Sedrun“.

4.10. Modelle zum Kronenvolumenzuwachs

Die Leitfrage 2) „Wie gut kann mit den im Jahr 2002 und 2012 gemessenen Umweltbedingungen der Höhenzuwachs bzw. der Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung von 2002 bis 2012 erklärt werden?“ kann wie folgt beantwortet werden. Die gemessenen Umweltbedingungen im Jahr 2002 können den Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichtenverjüngung gleich gut erklären wie die gemessenen Umweltbedingungen im Jahr 2012. Alle Kronenvolumenzuwachsmodele haben einen Korrelationskoeffizienten r von ca. 0.8. Die Modelle der vorliegenden Arbeit können den Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Fichten mit einer Abweichung von ca. 7.5 cm³ voraussagen. Allerdings sind die Modelle nicht geeignet, um den Kronenvolumenzuwachs anderer Fichten vorauszusagen. Denn die Abweichung der vorausgesagten Werte zu den tatsächlichen Werten beträgt für neue Daten 38'000 bis 81'000 cm³. Im Allgemeinen sind der Befall mit schwarzem Schneeschimmel und die Konkurrenzfreiheit für das Erklären des Kronenvolumenzuwachses wichtiger als für das Erklären des Höhenzuwachses.

Die Höhe über Meer ist für das Erklären des Kronenvolumenzuwachses weniger wichtig als für das Erklären des Höhenzuwachses. Dies legt nahe, dass Schneeschimmel und Konkurrenz den Kronenvolumenzuwachs stärker einschränken als den Höhenzuwachs. Konkurrenzfreiheit ist für den Kronenvolumenzuwachs entscheidend, weil die Konkurrenz die Seitentriebe der Bäume beschattet und dadurch Seitenäste absterben können. Dies führt zu einem geringeren Kronenvolumenzuwachs. Zusätzlich investieren Bäume mit viel Konkurrenz wahrscheinlich vermehrt in den Höhenzuwachs, um der Konkurrenz möglichst schnell zu entwachsen.

Wie beim Erklären des Höhenzuwachses ist der Verbiss 2002 wichtiger für das „Modell KVZ 2002 Davos-Sedrun“ als der Verbiss 2012 für das „Modell KVZ 2012 Davos-Sedrun“. Der Verbiss 2012 wirkte sich auch hier negativ auf den Kronenvolumenzuwachs aus, wohingegen der Verbiss 2002 sich aus heutiger Sicht positiv auf den Kronenvolumenzuwachs ausgewirkt hat. Dies kann wiederum durch eine Überkompensation nach dem Verbiss erklärt werden (Kupferschmid & Bugmann, 2013).

Anhand der Resultate der Modelle kann Leitfrage 3) „Wie wird das Wachstum der untersuchten Bäume zwischen 2002 und 2012 durch die Faktoren Ausgangshöhe, Lichtverfügbarkeit, Schneeschimmelbefall, Exposition, Hangneigung, Meereshöhe, Mikrotopographie, Substrat, Konkurrenz, Verbiss und Überschirmung beeinflusst?“ folgendermassen beantwortet werden.

Die Resultate der Modelle zeigen, dass der Höhen- bzw. Kronenvolumenzuwachs von Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängig ist:

- Geringe Höhe über Meer
- Grosse Ausgangshöhe
- Viel verfügbares direktes Licht
- Wenig Schneeschimmel
- Wenig Konkurrenz

Der Verbiss führt nur zu einem kurzfristigen Höhen- und Kronenvolumenzuwachsverlust, welcher jedoch später wieder überkompensiert wird. Gemäss den Modellen ist die Exposition nur etwa halb so wichtig wie die oben genannten Faktoren, die Überschirmung nur etwa 1/3-mal und die Hangneigung am wenigsten wichtig, um den Höhen- und Kronenvolumenzuwachs zu erklären. Der Einfluss der Mikrotopografie und des Substrats kann nicht abgeschätzt werden, da sie in den Modellen nicht berücksichtigt werden konnten (siehe Kapitel 2.4 Modelle).

5. Schlussfolgerungen

Bei der Folgeuntersuchung nach den Erstaufnahmen von Cunningham et al. (2006) wurden 60% der ursprünglich ausgewählten Bäume wiedergefunden. Die nicht gefundenen Bäume liessen sich jedoch nicht den lebenden oder toten Bäumen zuordnen, weil die Anzahl der gefundenen toten Bäume (16) zu gering war, um statistisch gesicherte Aussagen machen zu können. Die Leitfrage 1) konnte somit nicht beantwortet werden. Damit Aussagen über die Mortalität der Fichtenverjüngung gemacht werden könnten, müsste die Wiederfindungsrate von toten Bäumen viel höher sein.

Die gemessene Fichtenverjüngung in Davos und Sedrun ist während den letzten zehn Jahren weder linear noch exponentiell gewachsen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich die Bäume in einem Entwicklungsstadium befinden, in dem sie vermehrt ins Wurzelwachstum investieren. Die Vitalität der untersuchten Bäume, gemessen am jährlichen relativen Endtriebwachstum, hat über die letzten zehn Jahre zugenommen. Allerdings widerspiegelt das jährliche relative Endtriebwachstum nur einen Teil der tatsächlichen Vitalität der Fichten. Die Lichtverhältnisse in den Gebirgswaldbeständen haben sich zwischen 2002 und 2012 verändert. Das verfügbare direkte Licht hat abgenommen, da sich die Bestandeslücken, in denen die Fichtenverjüngung aufgekommen ist, durch zusammenwachsende Kronen wieder zu schliessen beginnen. Wie bereits andere Studien gezeigt haben, konnte auch in dieser Arbeit bestätigt werden, dass Bäume an südexponierten Hängen vermehrt von schwarzem Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) befallen sind. Die Fichten, welche 2002 verbissen wurden, konnten den anfänglichen Zuwachsverlust überkompensieren und hatten über die letzten zehn Jahre einen signifikant grösseren Zuwachs als Bäume, die 2002 nicht verbissen wurden.

Die 2002 gemessenen Parameter können den Höhenzuwachs sowie den Kronenvolumenzuwachs etwa gleich gut erklären wie die 2012 gemessenen Parameter. Dabei sind Ausgangshöhe, Licht, Höhe über Meer, Konkurrenzfreiheit und Schneeschimmel die wichtigsten Prädiktoren, um den Höhenzuwachs zu erklären. Der Kronenvolumenzuwachs kann am besten mit den Prädiktoren Ausgangshöhe, Licht, Exposition, Verbiss und Schneeschimmel erklärt werden. Es stellte sich heraus, dass schwarzer Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) für den Höhenzuwachs nicht relevant ist, jedoch für den Kronenvolumenzuwachs. Die Hangneigung, die Überschildung, die Region und die Exposition haben sich als weniger wichtige Prädiktoren für das Erklären des Höhen- und Kronenvolumenzuwachses herausgestellt.

5.1. Ausblick



Abbildung 33 Trotz ausgereiften Suchmethoden konnten nicht alle Bäume wiedergefunden werden. Simon Knüsel findet eine Nummer am Stamm einer sehr üppigen Fichtenverjüngung (eigene Darstellung).

Ziel dieser Arbeit war es, Aussagen über geeignete Standorte und Bedingungen machen zu können, an denen Fichtenverjüngung im subalpinen Gebirgswald erfolgreich aufkommen kann.

Gemäss den Resultaten dieser Arbeit weist die Fichtenverjüngung den grössten Höhen- sowie Kronenvolumenzuwachs an Stellen auf, wo sie genügend direktes Licht zur Verfügung hat und sich nur gegen wenig Konkurrenz durchsetzen muss.

Mit Bestandeslücken kann gewährleistet werden, dass genügend Licht bis auf den Boden kommt. In tieferen Lagen sollten ausreichend grosse Lücken geschlagen werden, damit genügend Licht auf den Boden gelangt. In höheren Lagen könnten zum Beispiel einzelne Rotten als Ganzes herausgenommen werden, damit die Fichtenverjüngung einige Jahre frei von Konkurrenz aufkommen kann. Die gewonnenen Erkenntnisse können als Beitrag zu den Grundlagen zur Planung der Verjüngung des Schutzwaldes verwendet werden.

Um genauere Aussagen über die Bedürfnisse der Fichtenverjüngung in subalpinen Gebirgswäldern machen zu können, sind mehr Untersuchungen nötig. Insbesondere Studien zur Mortalität der Fichtenverjüngung könnten zu einem besseren Verständnis beitragen. Denn mit Hilfe von Mortalitätsstudien weiss man im Idealfall nicht nur, was junge Fichten zum Aufwachsen brauchen, sondern auch was zu ihrem Absterben führt.

Wie in dieser Arbeit gezeigt werden konnte, ist es schwierig, Aussagen über Mortalität zu machen,

wenn nur sehr wenige tote Bäume gefunden werden und die Ausfallrate nicht bekannt ist. Für eine Arbeit über Mortalität wäre es deshalb wichtig sicherzustellen, dass alle untersuchten Bäume auch nach langer Zeit wiedergefunden werden. Das wäre zum Beispiel möglich, indem man alle Bäume mit einem Recco-Reflektor ausstattet. Zudem sollten die Bäume in kürzeren Zeitabständen kontrolliert werden, um zu verhindern, dass viele Bäume nicht mehr gefunden werden, weil sie verrotten, weggetragen oder unter einer Streuschicht begraben werden. Die Nummernschilder und die Recco-Reflektoren müssen so angebracht werden, dass sie weder abfallen noch die Verjüngung beim Wachstum behindern.

Der durchschnittliche Kronenvolumenzuwachs der untersuchten Bäume beträgt $27'829 \text{ cm}^3$ pro Jahr. Es wäre interessant, diesen Wert mit den Werten anderer Studien zu vergleichen. Allerdings wurden bisher nur Untersuchungen der Kronenmorphologie in Bezug auf die Lichtverfügbarkeit durchgeführt (Beaudet & Messier, 1998; Claveau et al., 2002; Beaudet et al., 2000). Da Werte für den Kronenvolumenzuwachs in der Literatur bisweilen fehlen und der Kronenvolumenzuwachs mit den erhobenen Daten etwa gleich gut erklärt werden konnte wie der Höhenzuwachs, scheint es sinnvoller den Höhenzuwachs zu untersuchen, statt den Kronenvolumenzuwachs, zumal die Messmethode für den Höhenzuwachs klar definiert und dieser einfach zu erheben ist.

Es wäre interessant, die weitere Entwicklung der untersuchten Bäume zu verfolgen. Eine Folgeuntersuchung sollte jedoch gut überlegt sein, da wahrscheinlich auch in zehn Jahren nur ein Teil der Bäume wiedergefunden würde. Für eine statistische Auswertung müssen jedoch genügend Beobachtungen vorhanden sein. Im schlechtesten Fall kann wahrscheinlich damit gerechnet werden, dass mindestens 60% der Bäume wiedergefunden werden. Die Wiederfindungsrate wäre aber voraussichtlich grösser. Einerseits weil die Bäume in zehn Jahren bereits grösser sind und ihre Überlebenswahrscheinlichkeit damit ansteigt (Kupferschmid & Bugmann, 2005). Andererseits weil die Bäume bei den Feldaufnahmen zu dieser Arbeit einheitlich markiert wurden, an jedem Transektspunkt mindestens ein Recco-Reflektor vorhanden ist und Skizzen zu den Standorten vorhanden sind.

Danksagung

Die Basis dieser Arbeit, die Feldarbeit, konnte nur dank der Hilfe der Personen, die mich im Feld begleiteten so erfolgreich durchgeführt werden. Ohne ihre Hilfe wäre die Feldarbeit nicht möglich gewesen. Die Begleiter haben unendlich viel geholfen, vor allem waren sie auch Motivationsstärker. Deshalb möchte ich mich sehr herzlich bei folgenden Personen bedanken:



Anja Bader und Samuel Schmutz,

die beide spontan in der ersten Feldwoche in Sedrun eingesprungen sind und ab dem ersten Feldarbeitstag eine grosse Unterstützung waren.

Carmen Rovina und Gian Ehrenzeller,

für die angenehme und unterhaltsame Gesellschaft. Sie begleiteten mich eine Woche lang in Sedrun.



Spezieller Dank gilt **Simon Knüsel**, der mich mit unendlicher Ausdauer zwei Wochen lang in Davos durch Regen, Schnee, Motivationsschwankungen, endlose Wanderungen querfeldein und ebenso viele Schönwetter-Panoramas begleitet hat.

Mélanie Thomas, mit der ich die Wohnung in Sedrun für zwei Wochen teilte und die mich einen Tag lang begleitete und mir Einblick in ihre Feldarbeit gewährte, was sehr interessant war.

Emma Wölfle, die mich am letzten Feldarbeitstag in Sedrun begleitete.

Weiter möchte ich mich bei **Mélanie Thomas** und **Sophie Stroheker** bedanken. Wir teilten uns das Büro und viele gemeinsame erfreuliche sowie auch ärgerliche Momente. Dank der grossen Hilfsbereitschaft und Unterstützung haben wir gemeinsam alle Hürden überwinden können.

Vielen Dank auch an **Christoph Märki** und **Harald Bugmann** für die Betreuung und wertvollen Ideen an unseren Besprechungen und der **Gruppe der Professur Waldökologie**, insbesondere **Christof Bigler**, für die spontane Hilfe bei Statistikfragen.

Herzlichen Dank auch an **Bernd** für seine geduldsamen Erklärungen zu statistischen Fragen. Ich war sehr dankbar für seine kompetenten Antworten.

Herzlichen Dank gilt auch **Toni Cathomas**, Leiter der technischen Dienste der Bergbahnen Sedrun, der den Recco-Detektor für die ganze Feldarbeit zur Verfügung stellte.

Herzlichen Dank auch an **Otthmar Ehrenzeller** für die zwei Mountainbikes, die wir für die Anfahrt zu den Transekten benötigten. Die Velos waren sehr hilfreich.

Vielen Dank auch **Rosa-Maria Ehrenzeller** und **Emma Wölfl**e für die Zügelhilfe von Sedrun nach Davos.

Des Weiteren möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken:

Gabriel Monn, **Hannes Jenny** und **Andrea Ambühl** für die telefonische Auskunft über den Wildbestand.

Caroline, **Emma** und **Peter Wölfl**e und **Simon Knüsel**, für die kritische Durchsicht dieser Arbeit.

Literaturverzeichnis

- Ambühl, A. (2013). *Zuständiger Wildhüter des Jagdbezirks Davos Frauenkirch; Persönliche Kommunikation am 11.02.2013.*
- Bachofen, H. (2007). Verjüngung und Mortalität in ungleichförmigen Beständen Dauerwälder, Plenterwälder, Gebirgsplenterwälder. In J. Nagel, *Tagungsband 2007* (S. 133-144). Alsfeld-Eudorf: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 21.-23. Mai 2007.
- Bartin, K. (2012). *MuMIn: Multi-model inference*. R package version 1.8.0.
- Bates, D., Mächler, M., & Bolker, B. (2012). *lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes*. R package version 0.999999-0.
- Beaudet, M., & Messier, C. (1998). Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a natural light gradient. *Canadian Journal of Forest Research* 28, 1007-1015.
- Beaudet, M., Messier, C., Hilbert, D. W., Lo, E., Wang, Z. M., & Lechowicz, M. J. (2000). Leaf- and plant-level carbon gain in yellow birch, sugar maple, and beech seedlings from contrasting forest light environments. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 390-404.
- Bissegger, M. (1989). *Erhebung der Verbissbelastung im Betriebsteil "Uaul Surrein" des Lehrwaldes Sedrun, Ermittlung von Dispersionsfaktoren sowie Ableitung der Genauigkeit und des Arbeitsaufwandes für Stichproben unterschiedlichen Umfanges*. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Brändli, U.-B. (2010). *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006*. Birmensdorf, Bern: Eidgenössische Forstanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, BAFU.
- Brang, P. (1996). Experimentelle Untersuchungen zur Ansamungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Beiheft Nr. 77*.
- Brang, P. (1998). Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. *Canadian Journal of Forest Research* 28, 626-639.
- Brang, P. (2003). Resistance and elasticity: a conceptual framework for managing secondary forest ecosystems in Switzerland. In D. Rapport, B. Lasely, D. Rolston, N. Nielsen, C. Qualset, & A. Damania, *Managing for Healthy Ecosystems* (S. 921-933). Boca Raton: Lewis Publishers.
- Brang, P., Schönenberger, W., Ott, E., & Gardner, B. (2001). Forests as protection from natural hazards. In J. Evans, *The Forests Handbook* (S. 53-81). Oxford: Blackwell Science.
- Brosi, G., & Jenny, H. (2012). *Ergebnisse und Erkenntnisse zur Regulierung der Wildbestände im Kanton Graubünden, Jagden 2011*. Chur: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.
- Buchli, J. (1997). *Beurteilung des minimal notwendigen Verjüngungsanteils in subalpinen Schutzwaldkomplexen anhand eines Fallbeispiels in Sedrun*. ETH Zürich: Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum.

- Bugmann, H. (2012). *Waldökologie*. Zürich: Professur Waldökologie, Departement Umweltnaturwissenschaften, ETH .
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo. (2000). Bundesamt für Landestopografie swisstopo.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference, A Practical Information - theoretic Approach*. Springer Science+Business Media.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel Inference, Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, Vol. 33, No. 2,, 261-304.
- Claveau, Y., Messier, C., Comeau Philip, G., & Coates, K. D. (2002). Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and hight. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 458-468.
- Cunningham, C., Zimmermann, N. E., Stoeckli, V., & Bugmann, H. (2006). Growth of Norway spruce (*Picea abies* L.) saplings in subalpine forests in Switzerland: Does spring climate matter? *Forest Ecology and Management* 228, 13-42.
- Diaci, J., & Thormann, J.-J. (2002). Ein Vergleich verschiedener Lichtmessmethoden in Buchennaturwäldern Sloweniens aus verjüngungsökologischer Sicht. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 39-50.
- Dobbertin, M. (2005). Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124, 319-333.
- Dormann, C. F. (2012). *Parametrische Statistik; Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R*. Freiburg: Biometrie & Umweltsystemanalyse Universität Freiburg.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., et al. (2012). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 35, 1-20.
- Duc, P., Abegg, M., & Brändli, U.-B. (2010). Schutzwald. In U.-B. Brändli, *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006* (S. 231-251). Birmensdorf, Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt, BAFU.
- Eiberle, K. (1989). Über den Einfluss des Wildverbisses auf die Mortalität von jungen Waldbäumen in der oberen Montanstufe . *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 140, 12, 1031-1042.
- Eiberle, K., & Nigg, H. (1987). Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gerbirgswald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 138, 747-785.
- Frehner, M. (1989). Beobachtungen zur Einleitung der Naturverjüngung an einem nordexponierten Steilhang im subalpinen Fichtenwald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 140, 1013-1022.
- Frehner, M. (2001). Entwicklung von Fichtenverjüngung im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich (nördliche Zwischenalpen). *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 12-24.

- Frehner, M. (2002). Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinenschutzwäldern. *Beiheft Nr. 92 Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*.
- Frehner, M., Wasser, B., & Schwitter, R. (2005). *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald, Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Hanssen, K. H. (2003). Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. *Forest Ecology and Management* 180, 199–213.
- Harrell, F. (2001). *Regression Modeling Strategies - with Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis*. New York: Springer.
- Hirsiger, E., Gmür, P., Wasem, U., Wunder, J., & Brang, P. (2013). Verjüngung von Gebirgs-Fichtenwäldern; 10 Jahre Erfolgskontrolle in schlitzförmigen Lücken. *Wald & Holz*.
- Imbeck, H., & Ott, E. (1987). Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen, subalpinen Fichtenwald mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. *Mitteilung des Eidgenössischen Instituts für Schnee und Lawinenforschung*, 42, 202.
- Johnson, J. B., & Omland, K. S. (2004). Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol.19, No.2, 101-108.
- Kantonale Verwaltung Graubünden. (2013). *Interaktive Karte zum Kanton Graubünden zum Thema Waldstandorte*. Kanton Graubünden.
- Kantonale Verwaltung Graubünden. (2013). *Waldentwicklungsplan*. Amt für Naturgefahren.
- Kreiliger, M. (1992). Erhebung über das Höhenwachstum der Fichtenverjüngung in Beziehung zur Sonnenscheindauer in der montanen und subalpinen Stufe in sonnenzugewandten Hanglagen in der Cadi. *Diplomarbeit der ETH Zürich, Fachbereich Waldbau, unveröffentlicht*.
- Kupferschmid, A., & Bugmann, H. (2005). Effect of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest. *Forest Ecology and Management* 205, 251–265.
- Kupferschmid, A., & Bugmann, H. (2013). Timing, light availability and vigour determine the response of *Abies alba* saplings to leader shoot browsing. *European Journal of Forest Research* 132, 47-60.
- Leibundgut, H. (1978). *Die Waldpflege*. Bern, 204 S.: Paul Haupt.
- Limpert, A., Stahel, W. A., & Abbt, M. (2001). Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues. *BioScience* vol. 51, Nr. 5, 341-352.
- Lüscher, F. (1990). Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. *Dissertation ETH Zürich, Nr. 8879*, 138 S.
- Monn, G. (2013). *Zuständiger Wildhüter des Jagdbezirks Sedrun; Persönliche Kommunikation am 31.01.2013*.

- Munter, W. (2003). *Drei mal drei (3x3) Lawinen. Risikomanagement im Wintersport*. Bergverlag Rother; Auflage: 4.
- Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U., & Lüscher, P. (1997). *Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung*. Bern: Verlag Paul Haupt.
- Professur für Forstschutz & Dendrologie der ETH Zürich. (2002). *Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz*. Zürich: Professur für Forstschutz & Dendrologie der ETH Zürich.
- R Core Team. (2012). *A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rüegg, D. (1999). Erhebung über die Verjüngung in Gebirgswäldern und den Einfluss von freilebenden Paarhufern als Grundlage für die forstliche und jagdliche Planung. *Beiheft der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen*, Nr. 88, 182 S.
- Rüegg, D., & Nigg, H. (2003). Mehrstufige Verjüngungskontrollen und Grenzwerte für die Verbissintensität. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 154, 314-321.
- Sandri, A. (1993). Erfordernisse der Gebirgswaldforschung, -lehre und fortbildung: die Sicht eines Gebirgskreisförsters. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 144, 425-439.
- Schmid, U. (2011). *Folgeaufnahme im Rahmen einer Machbarkeitsstudie und Untersuchung der Verjüngung entlang von bestehenden Transekten in Sedrun*. Zürich: Professur für Waldökologie, ETH Zürich.
- Schönenberger, W., & Brang, P. (2004). Silviculture in mountain forests. In J. Burley, & J. Evans, *Encyclopedia of Forest Science*. Amsterdam: Elsevier.
- Schweizerischer Forstverein. (2002). Verbiss und die häufigsten Fragen dazu. Arbeitsgruppe Wald und Wildtiere. *Einsehbar auf www.forest.ch*, 3 S.
- Streit, K., Wunder, J., & Brang, P. (2009). Slit-shaped gaps are a successful silvicultural technique to promote *Picea abies*. *Forest Ecology and Management*, 1902-1909.
- Stroheker, S. (2013). *Long-term establishment and survival of Norway spruce regeneration on nurse logs in a subalpine virgin forest*. Zürich: Masterarbeit.
- Thomas, M. (2013). *Wie geht es dem Nachwuchs in Sedrun? Eine Verjüngungserhebung planen, durchführen und auswerten*. Zürich: Masterarbeit.
- Vandenbergh, C., Freléhoux, F., & Buttler, A. (2008). The influence of competition from herbaceous vegetation and shade on simulated browsing of coniferous and deciduous saplings. *Oikos* 117, 415-423.
- Wasem, U. (2008). Terrassen mit guten Aussichten. *Wald und Holz* 89,4, 34-37.
- Wunder, J., & Brang, P. (2003). Fichtenverjüngung im Gebirgswald: Erfolgskontrolle in Schlitten. *Wald und Holz*.

Anhang

A 1: Luftbildausschnitte der Transektpunkte in Davos

A 2: Luftbildausschnitte der Transektpunkte in Sedrun

A 3: Skizzen der Transekte

A 4: Aufnahmeprotokoll

A 5: Verteilungen der Prädiktoren

A 6: Korrelationstabelle der Parameter

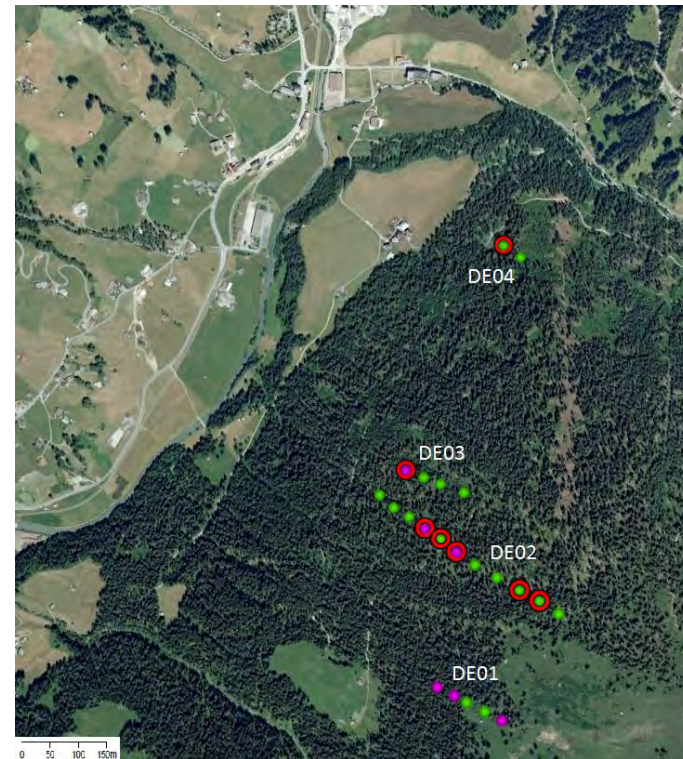
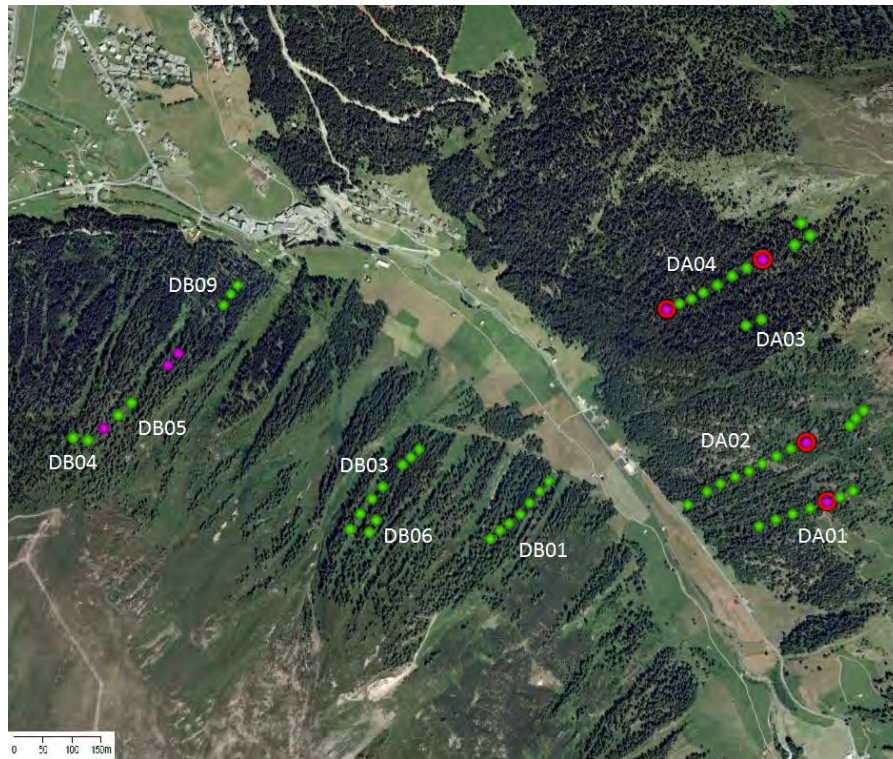
A 7: Zusätzliche Darstellungen zu den Modellen

A 8: Datenauszug der toten Bäume

A 9: Feldtagebuch

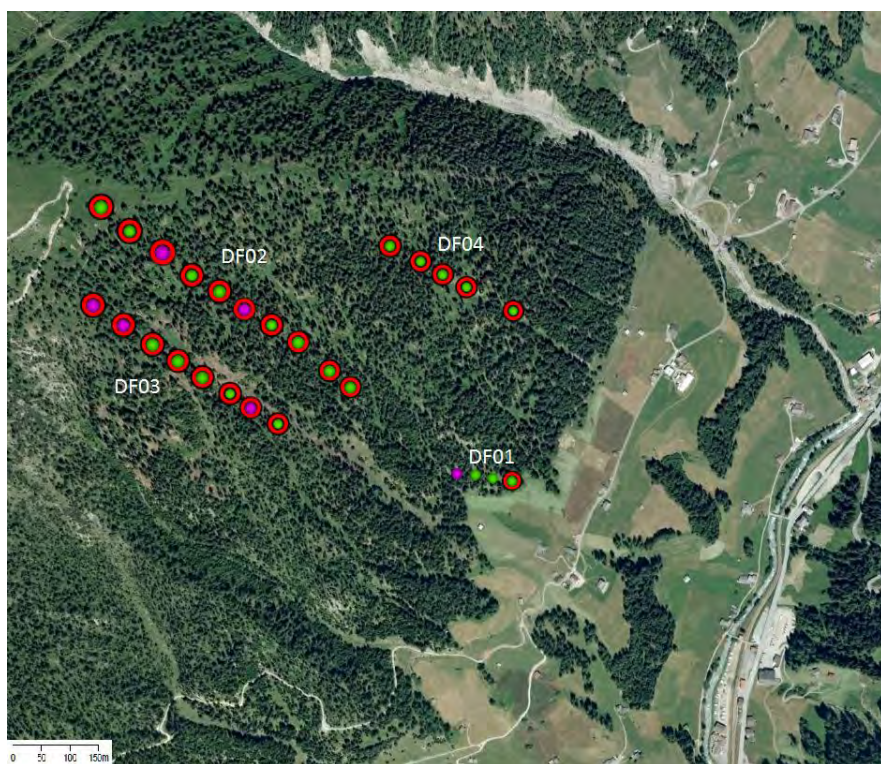
A 10: Adressen

A 1: Luftbildausschnitte der Transektpunkte in Davos¹⁷

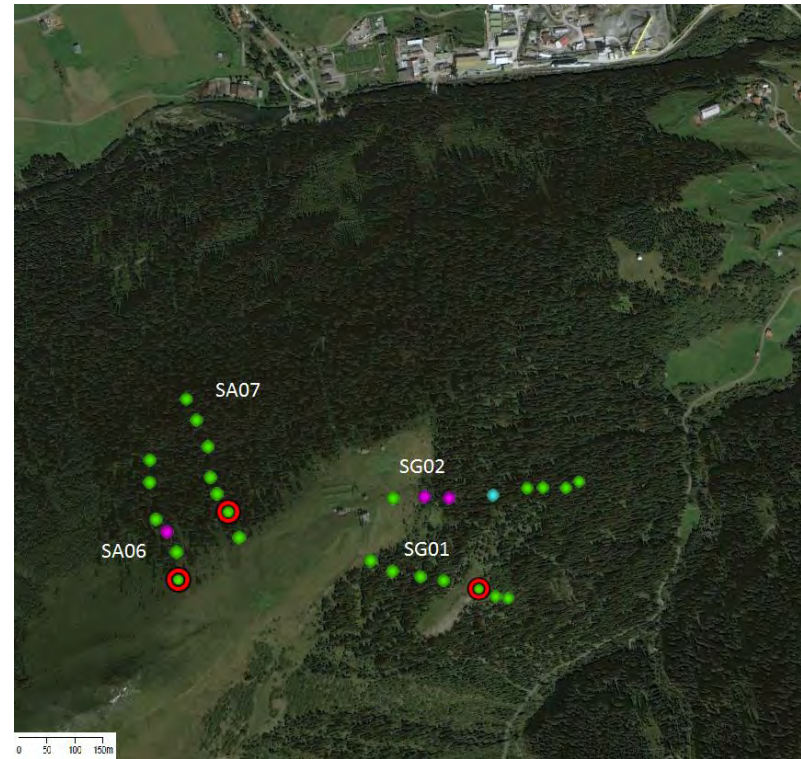
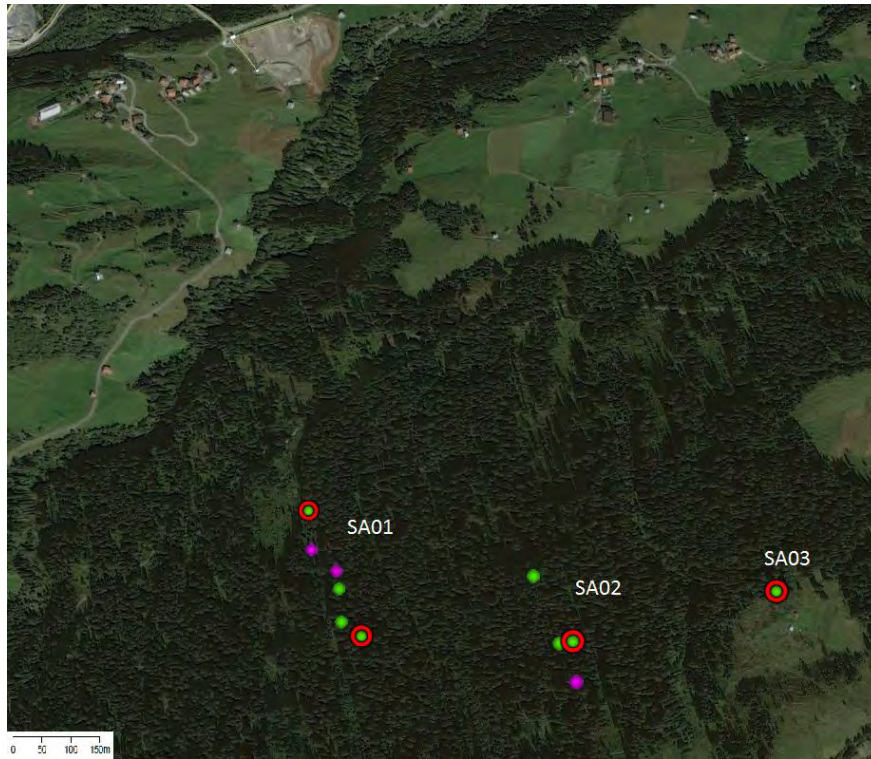


A 1: Kartenausschnitt einiger Transektpunkte in Davos. Die Nummern beziehen sich auf die Bezeichnung der Transekte. Grüne Punkte = gefundene Transektpunkte; Violette Punkte = nicht gefundene Transektpunkte; Rote Kreise = Transektpunkte ohne Recco-Reflektor.

¹⁷ Quelle: Google Earth 2012 (6.2.2.6613). Stand: 13.02.2013.

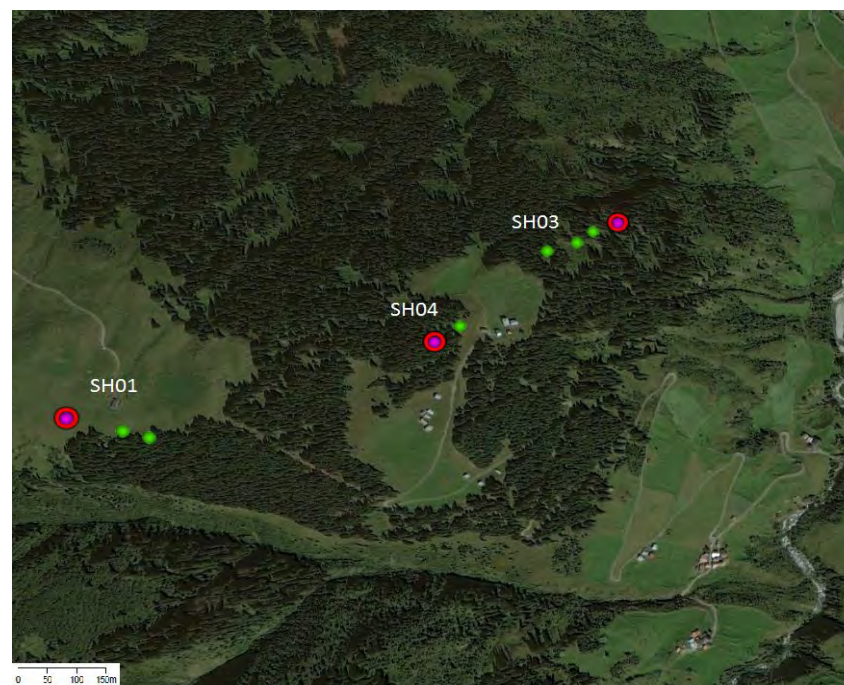
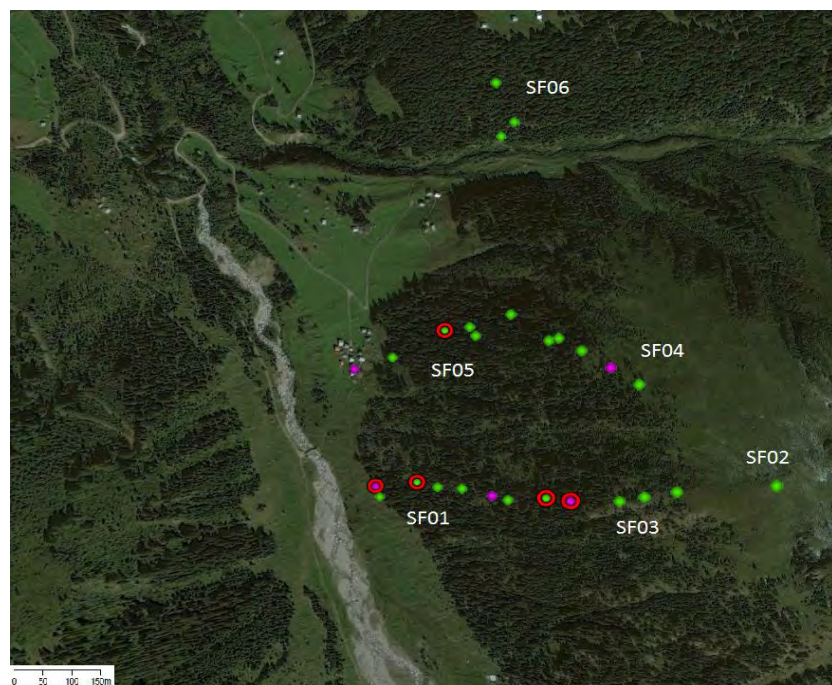
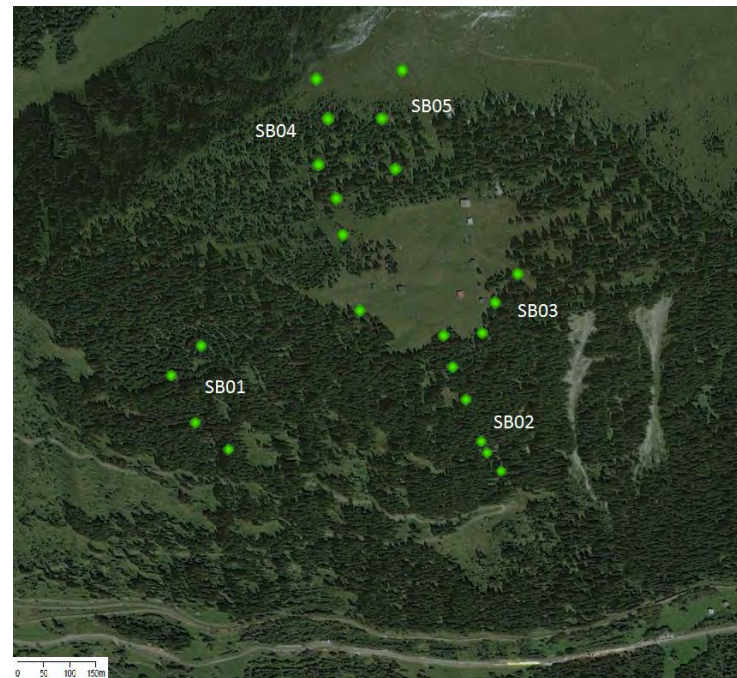
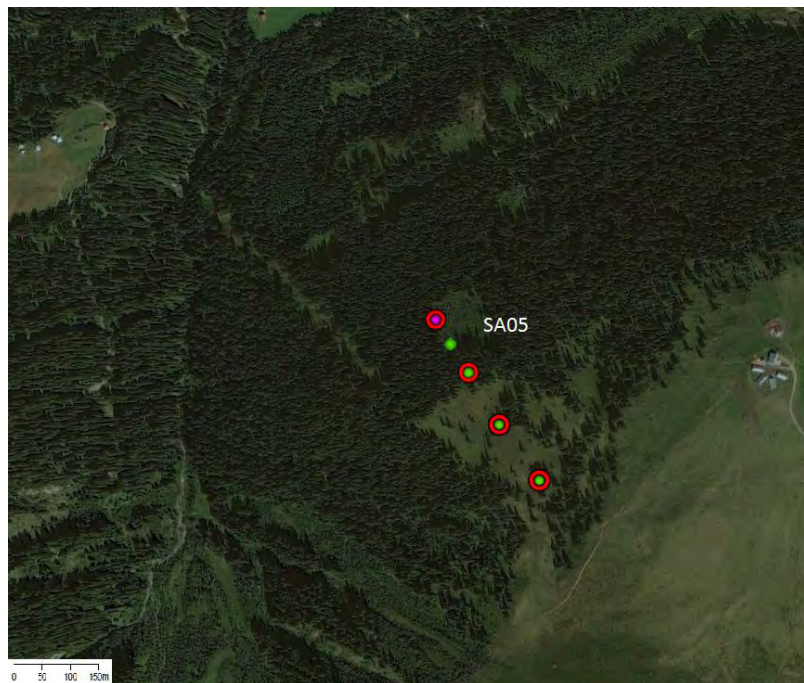


A 2: Luftbildausschnitte der Transektpunkte in Sedrun¹⁸



A 1: Kartenausschnitt einiger Transektpunkte in Sedrun. Die Nummern beziehen sich auf die Bezeichnung der Transekte. Grüne Punkte = gefundene Transektpunkte; Violette Punkte = nicht gefundene Transektpunkte; Rote Kreise = Transektpunkte ohne Recco-Reflektor.

¹⁸ Quelle: Google Earth 2012 (6.2.2.6613). Stand: 13.02.2013.

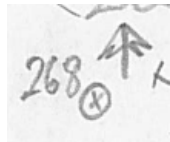


A 3: Skizzen der Transekte

A 3: Um eine Folgeaufnahme zu erleichtern wurden Skizzen der Transekte angefertigt. Die Nummer am oberen Rand bezieht sich auf die Transektbezeichnung. Was in der Zeichnung oben liegt, ist auch am Hang oben. Die gezeichneten Formen wurden oft in den Skizzen direkt beschriftet. Einige allgemeine Formen sind folgend als Legende aufgeführt:



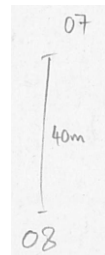
Recco-Reflektor



Fichtenverjüngung mit Nummerierung und Recco-Reflektor.



Distanz und relative Position zwischen zwei Fichten-verjüngungen, Nr. 193 mit Recco-Reflektor, Nr. 192 ohne.



Distanz zwischen zwei Transekt-punkten



Bach



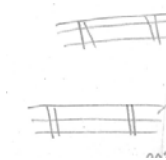
Stock, liegendes Totholz



Felsen, Felsband, Felswand



Blockschutt



Lawinenverbauungen



Zaun

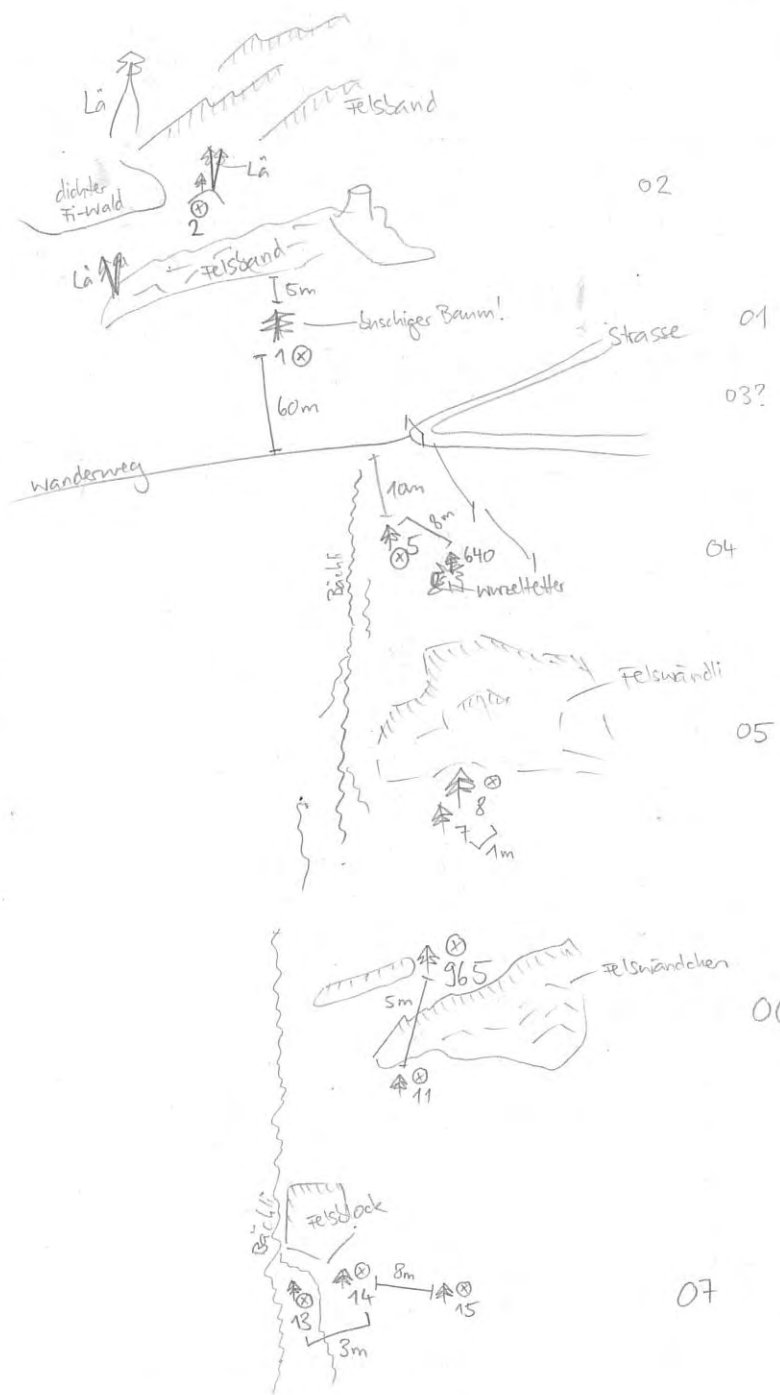


Strasse, Wanderweg



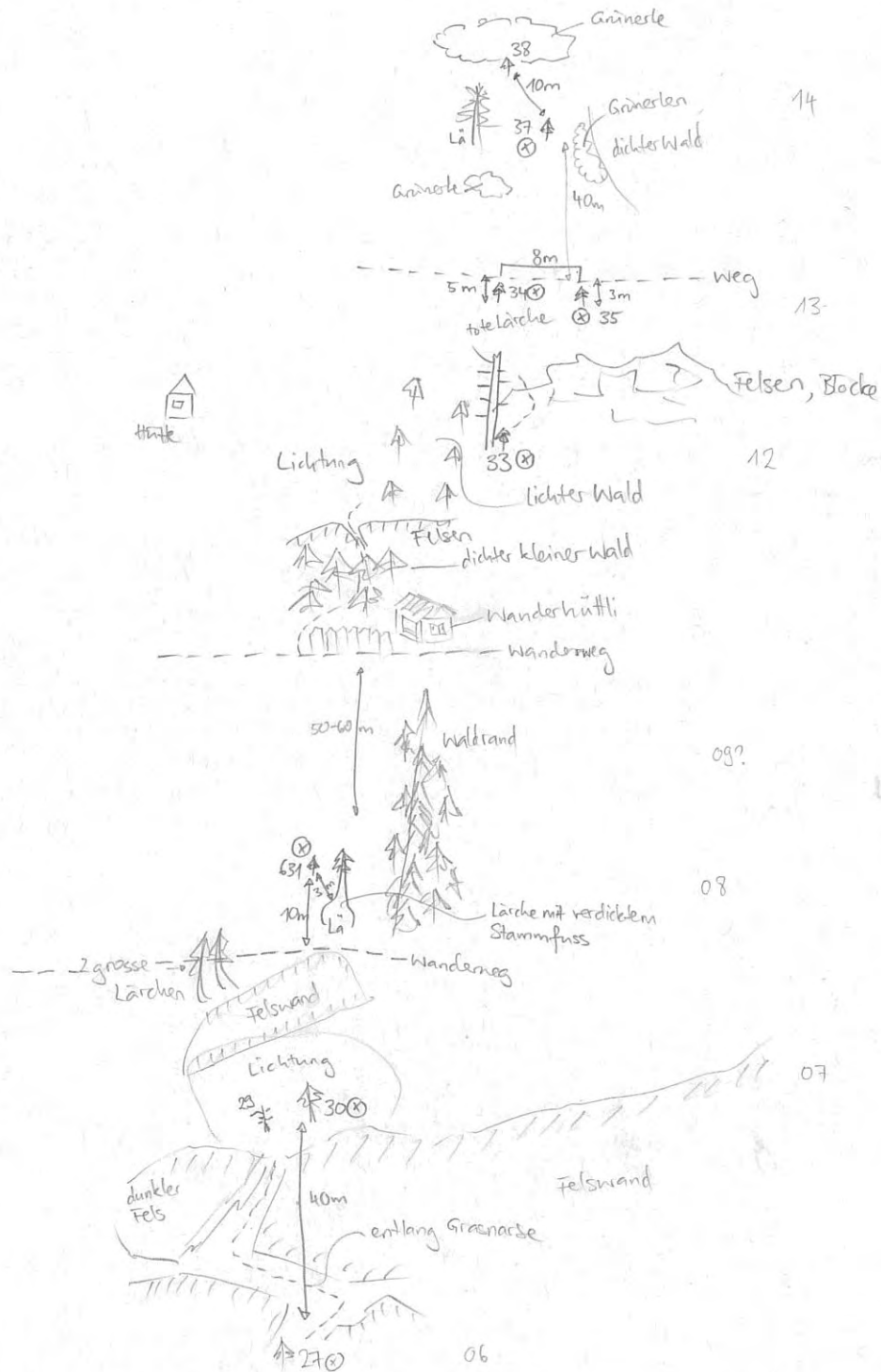
Wanderweg, Wildwechsel

DA01



Transekt DAO2

8 Recco

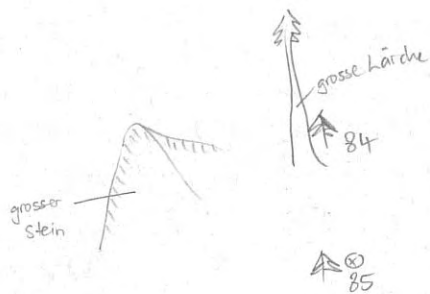


Transect DA02

(X) Recco



DA0301



85

02

40m



82

81

40

4m

83

1m

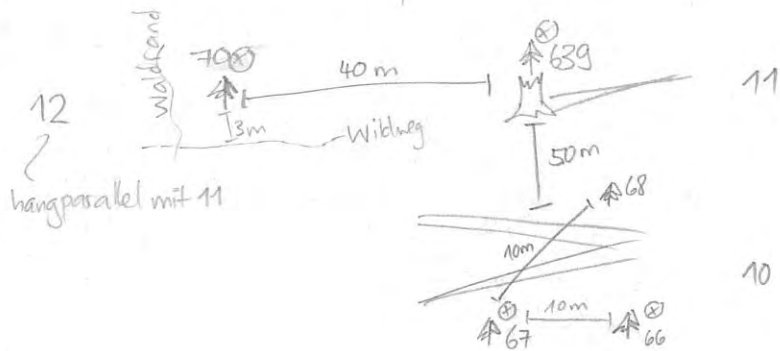
3m

5m

39

01

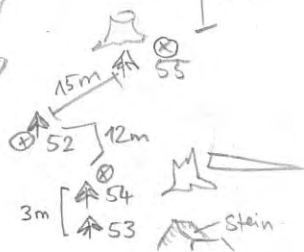
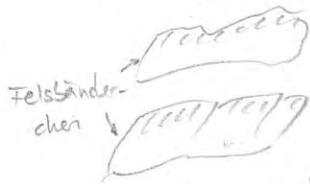
DA04



im
Geröll
(bemoost)

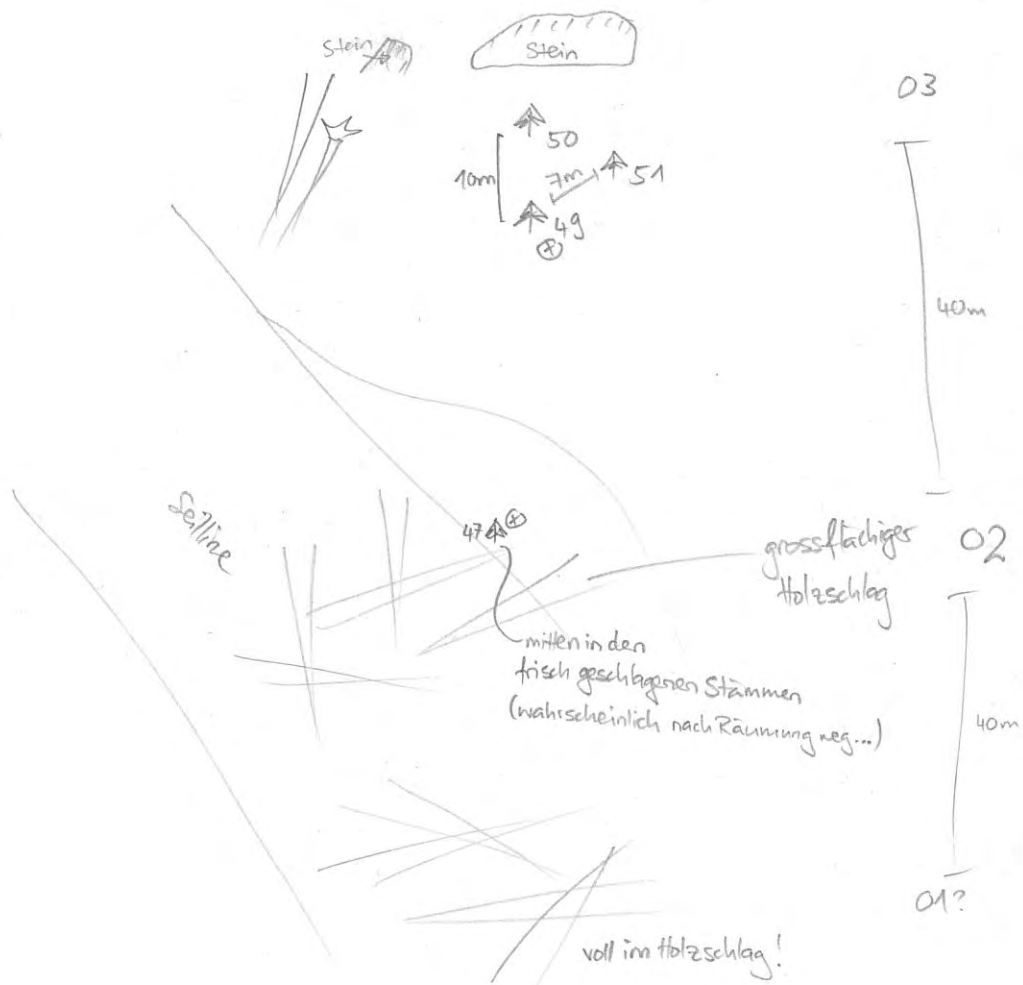


im Geröllfeld
(bemoost)



04

DA04



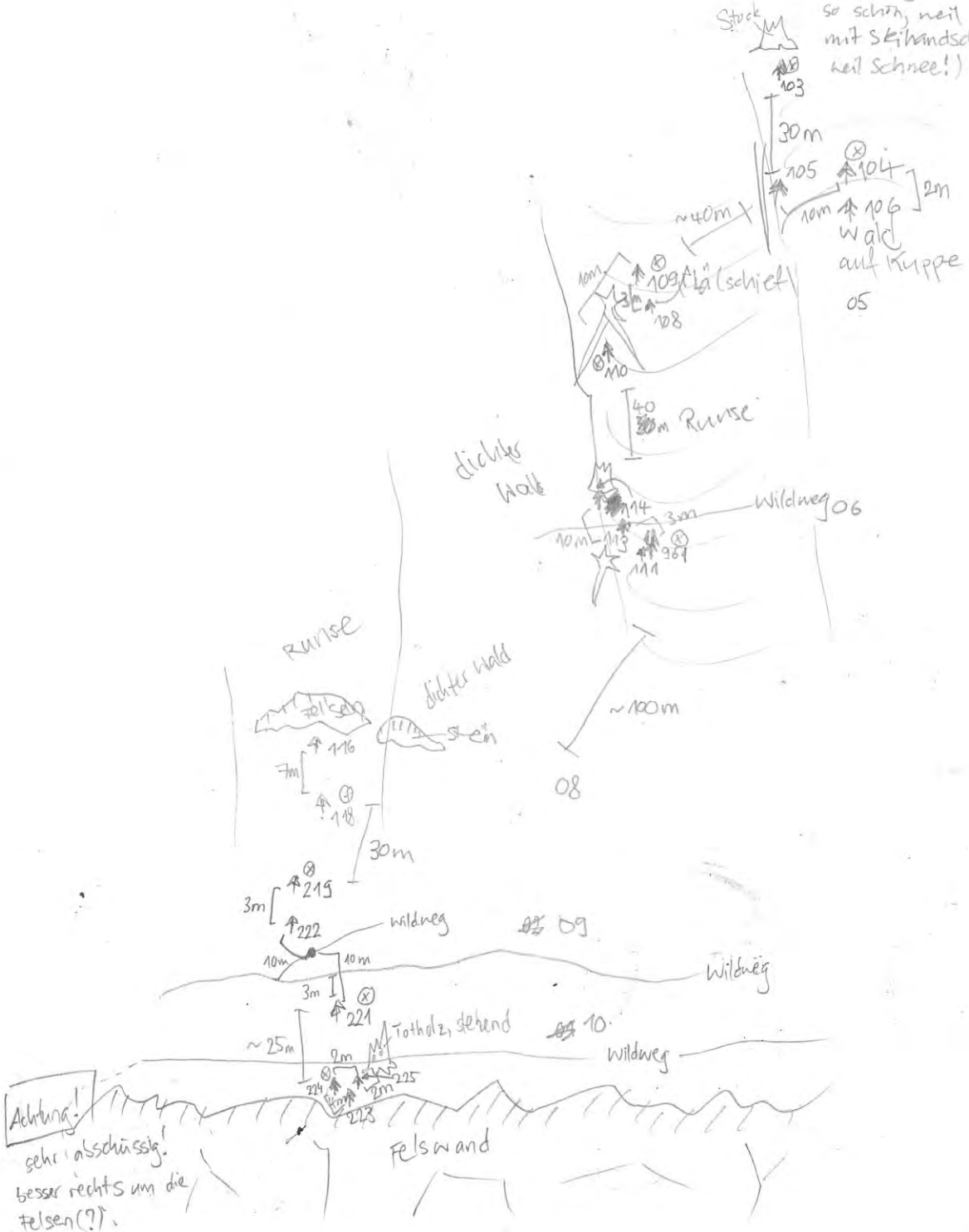
DB01



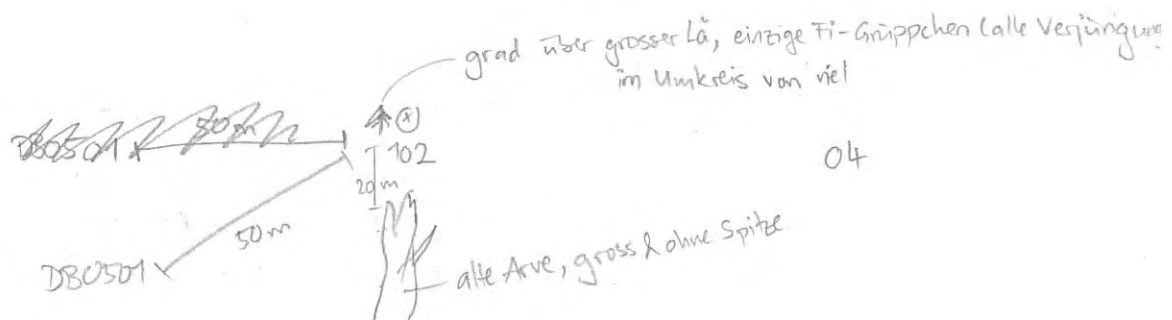
DB03

10.9.2012

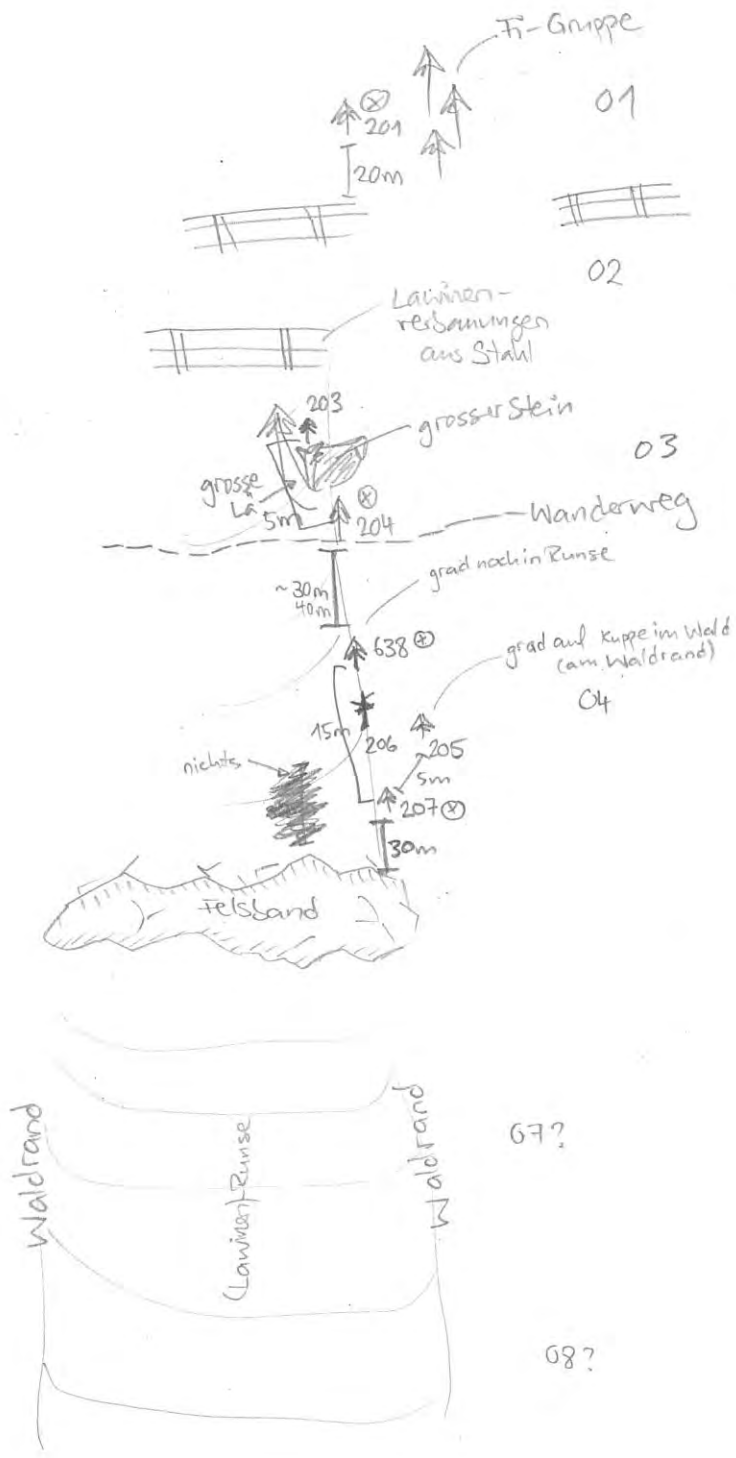
(zeichnung nicht
so schön, weil
mit Skihandschm!
keil Schnee!)



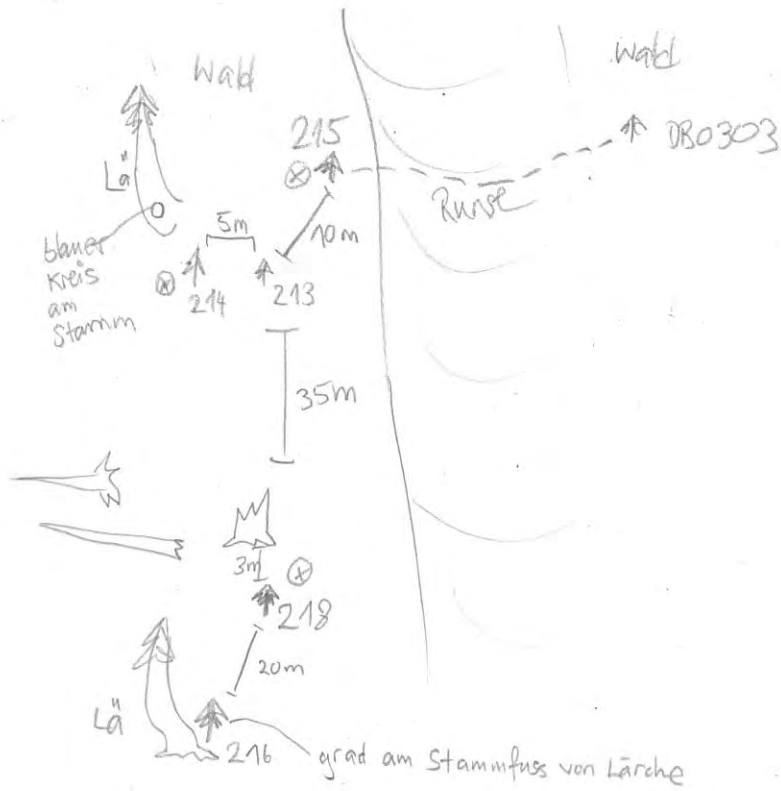
DB04



DB05



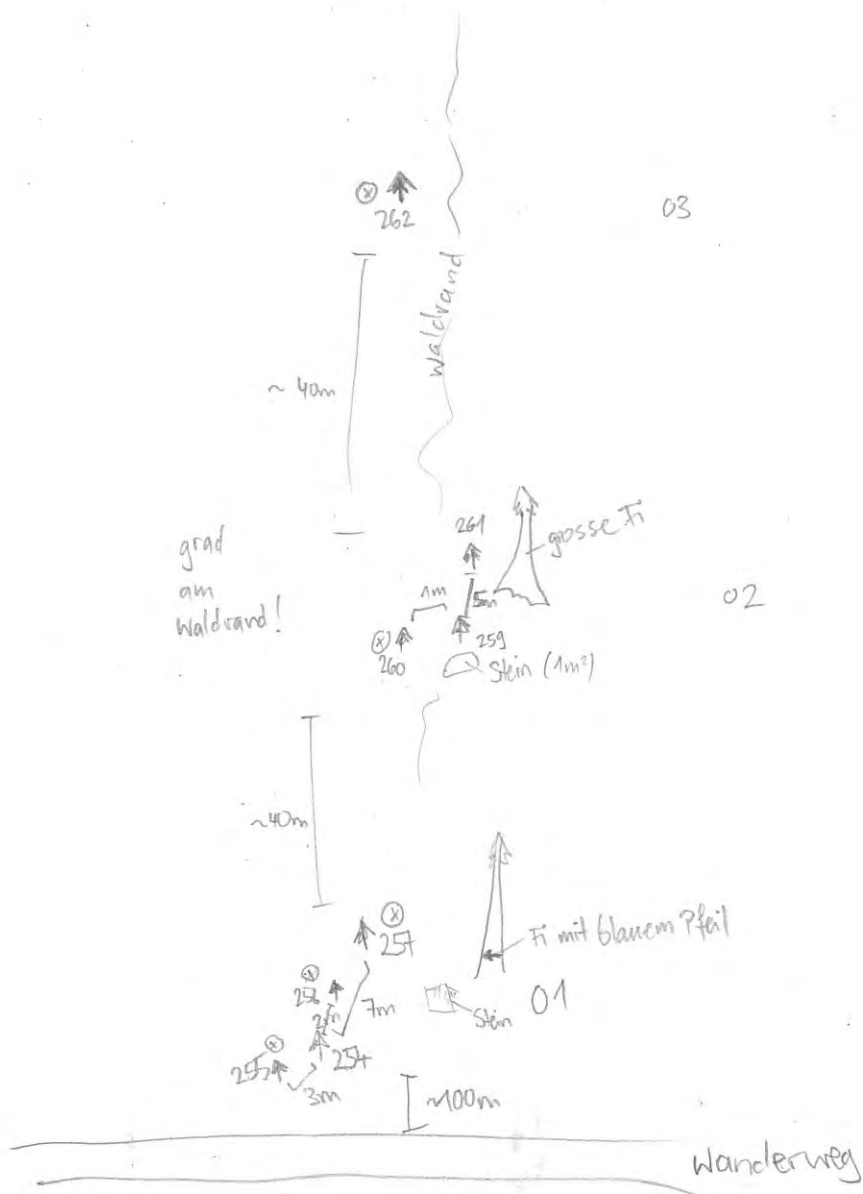
DB06



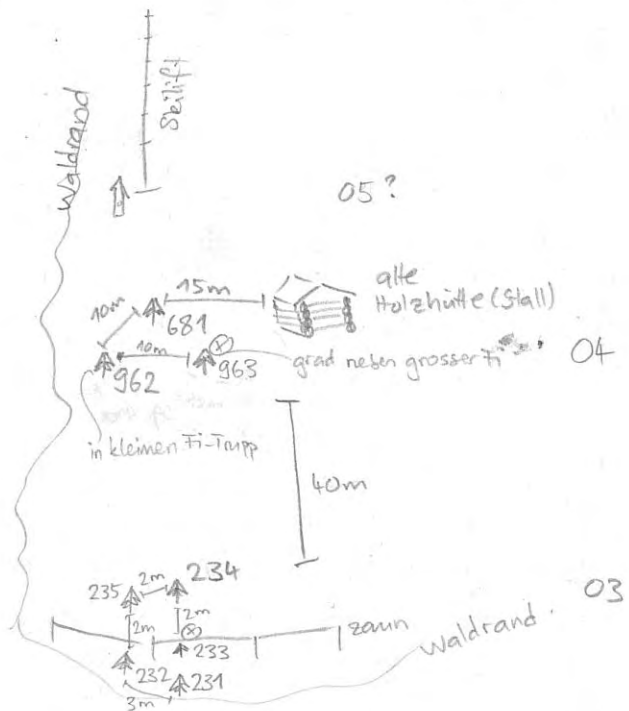
01

02

12509



DE01

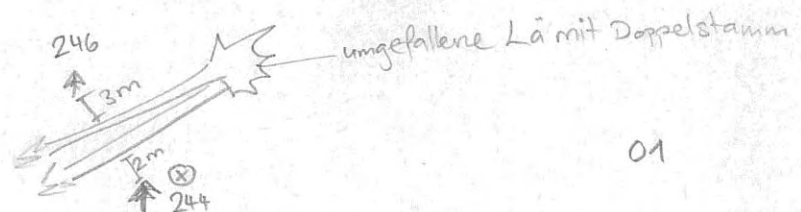


02?

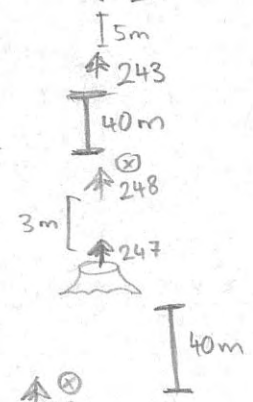
Holzschlag!
(vermutlich im Winter 2011/2012)

01?

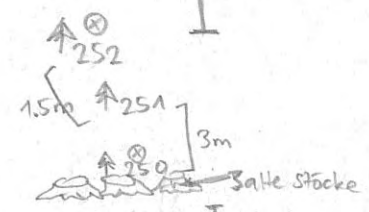
DE02



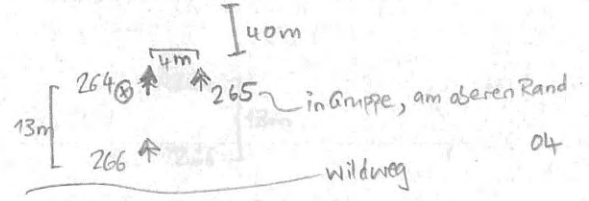
01



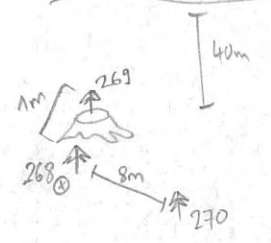
02



03



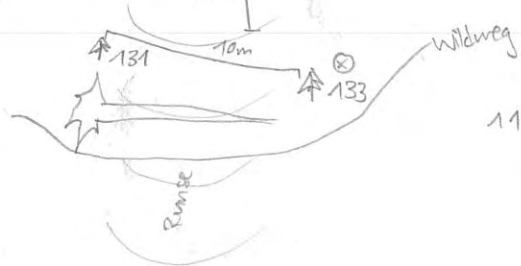
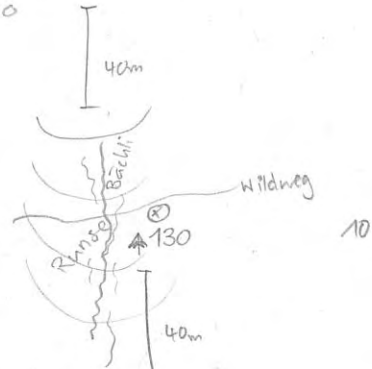
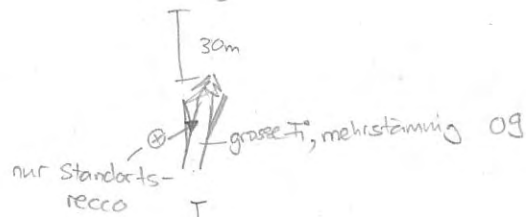
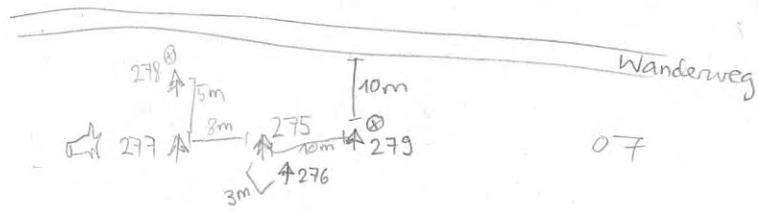
04



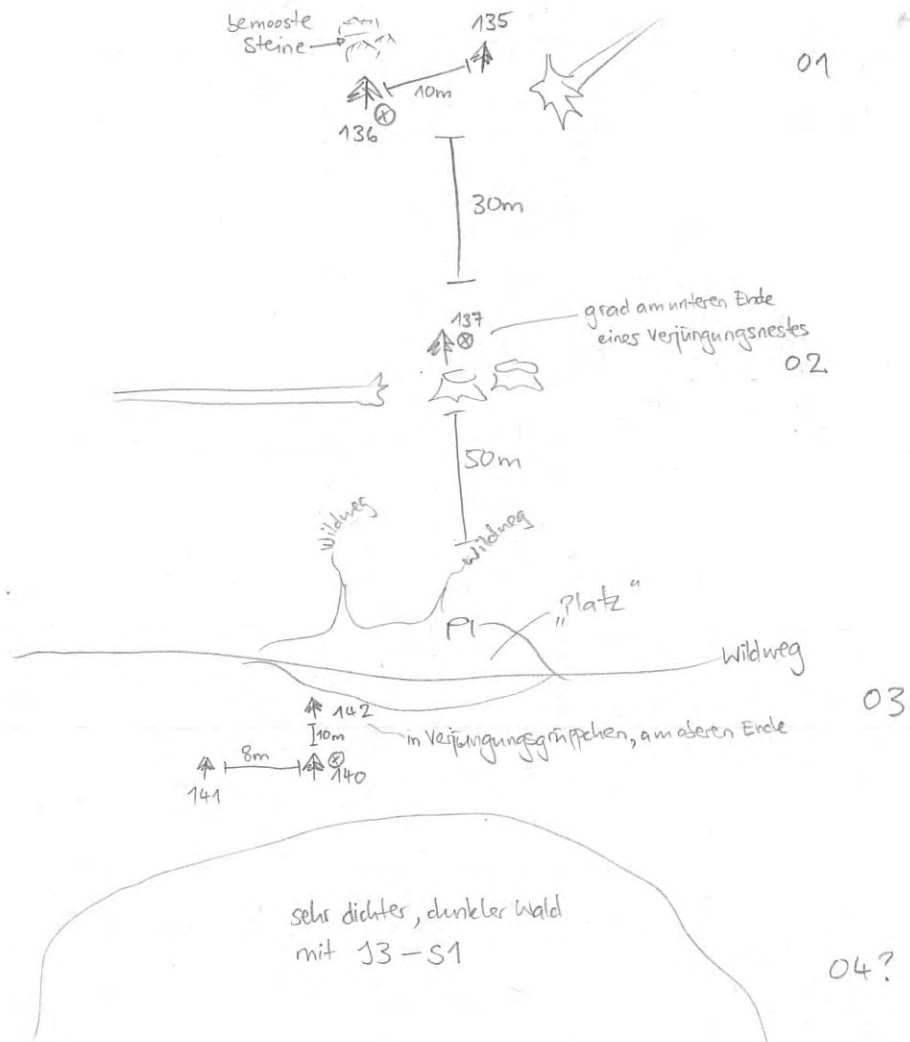
05

06?

DE02

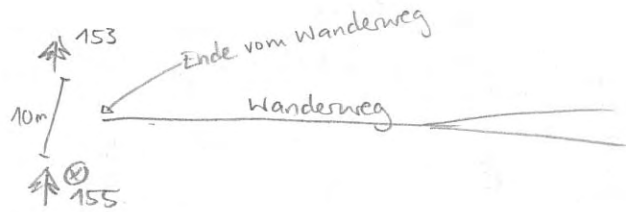


DE03

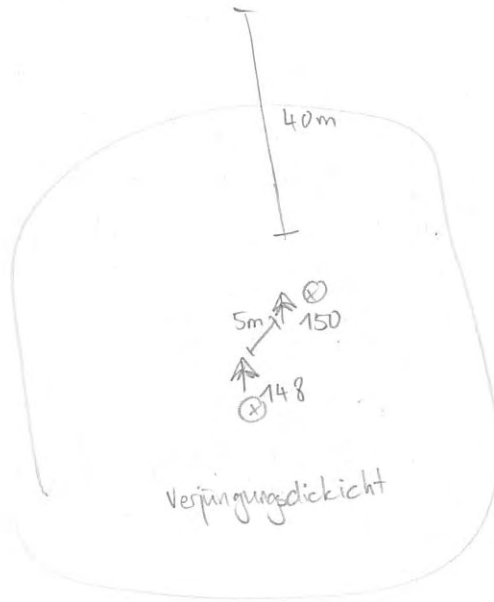


DE04

02



01



101

04?

Lichtung mit
ein paar Stöcken

163 ↑ ↑
01 ↑
161 ↑

junger Wald

03

Ameisenrost

158 ↑

Asthaufen

02

40m

8m

20-30m

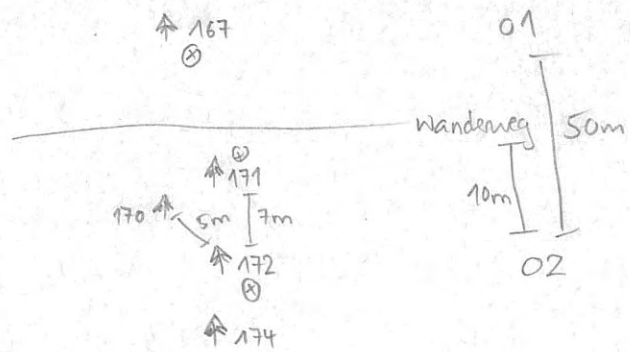
156

157

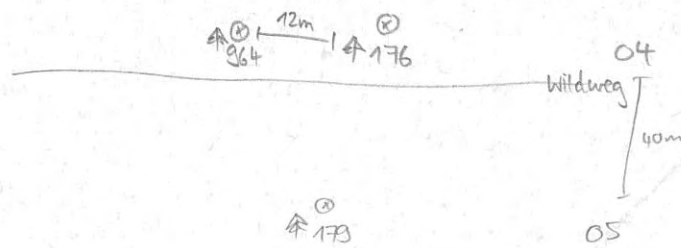
alter Stock
(mit blauem Fleck)

01

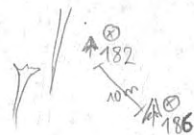
DT02



03?



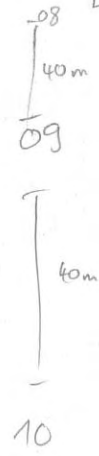
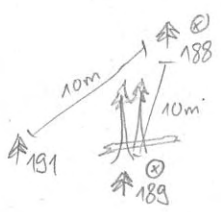
06?



07
40m
08

185 5m 187
grad oberhalb
von Verjüngungsgruppe

DF02

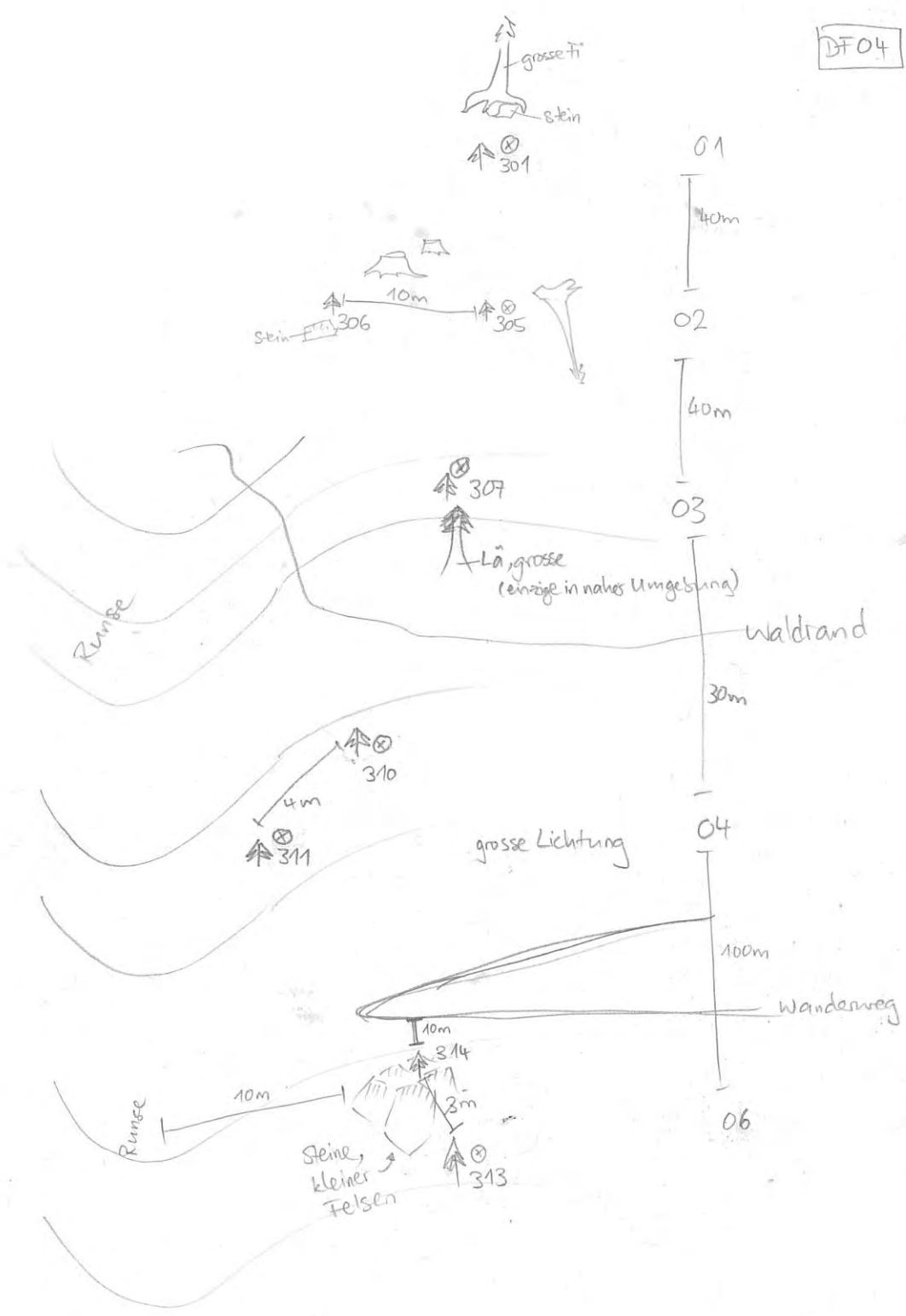


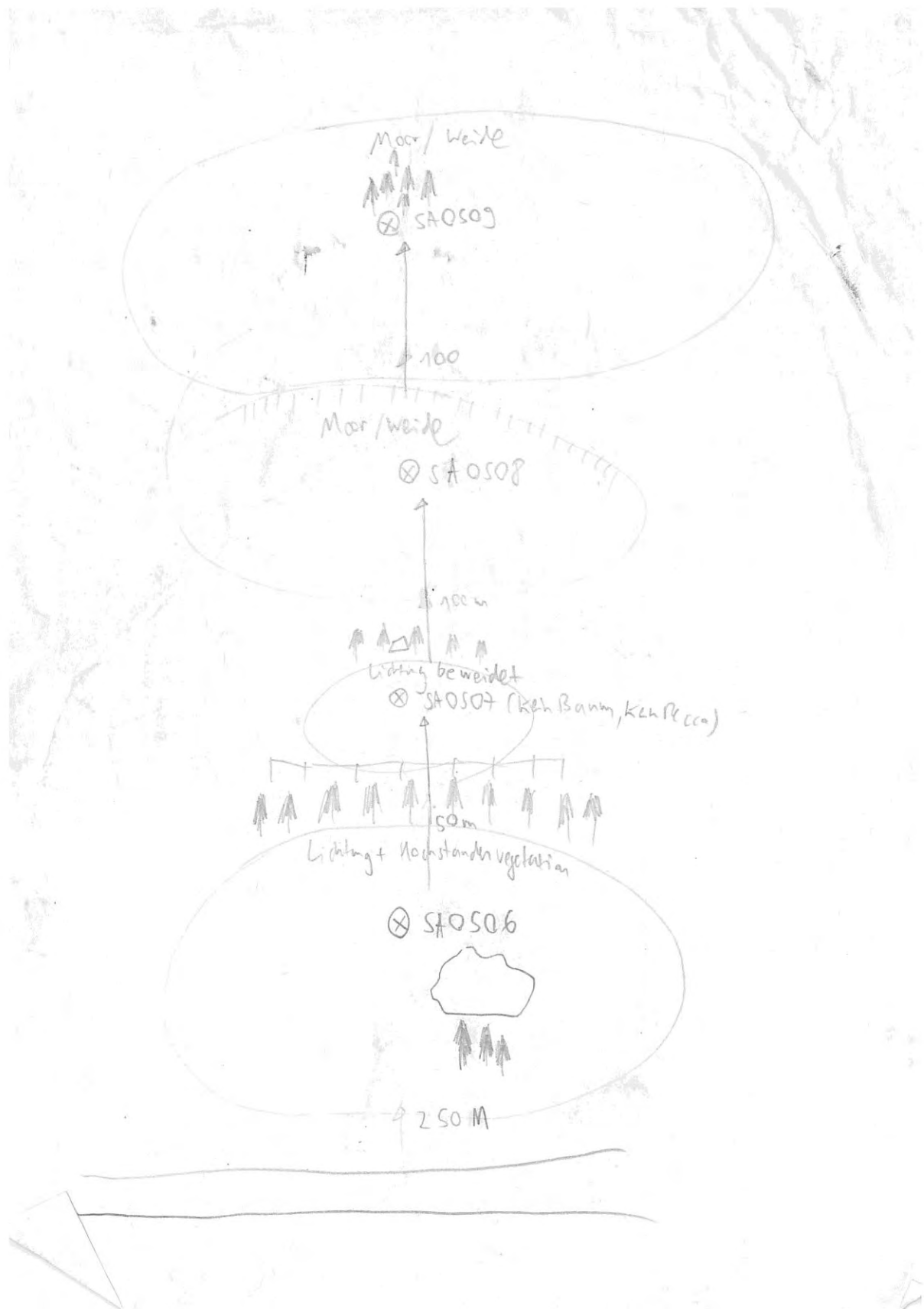
DF03

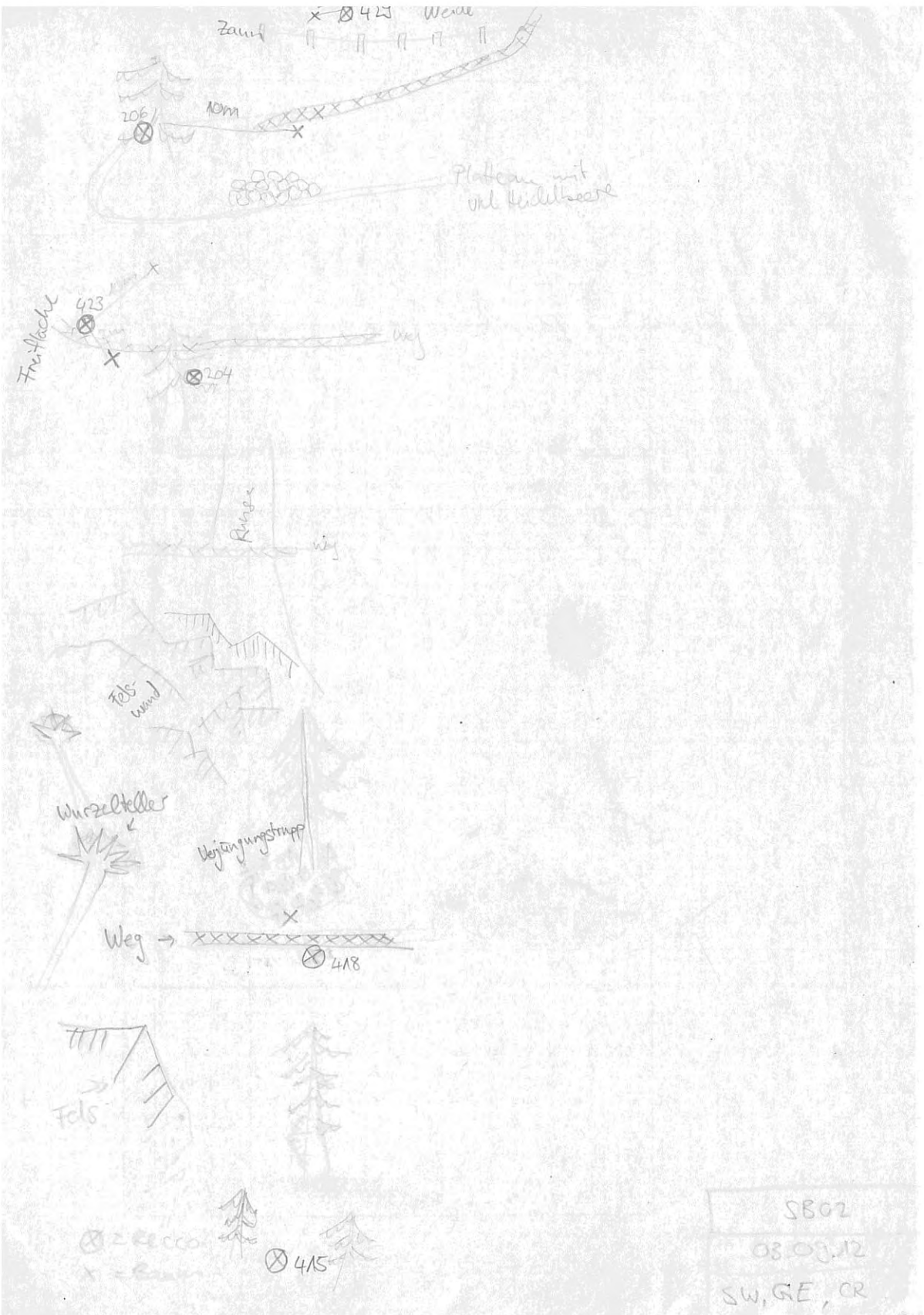
- ⌋ Bach
- ⊗ Zorro
- ↑ Baum



DF 04

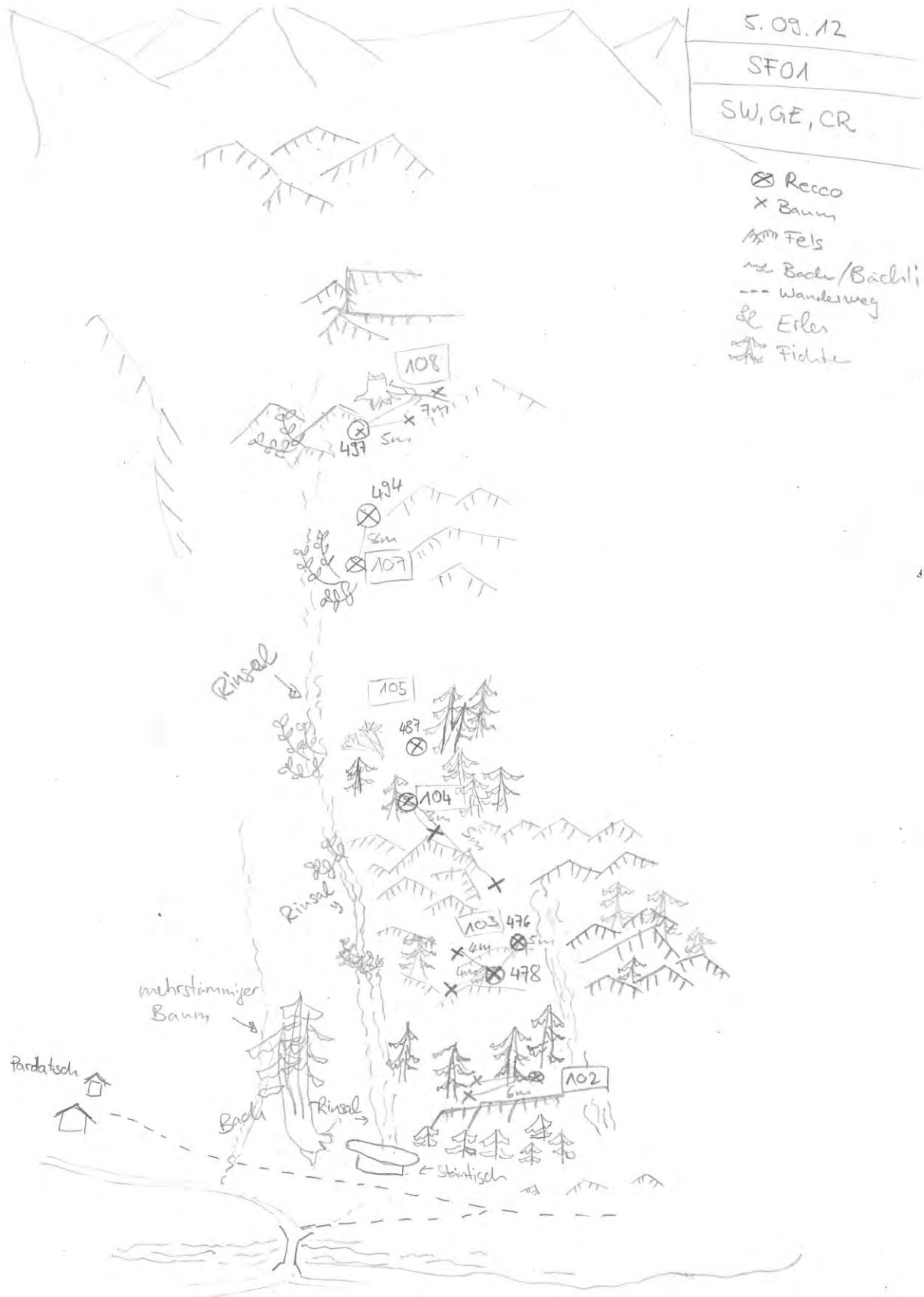






SB03





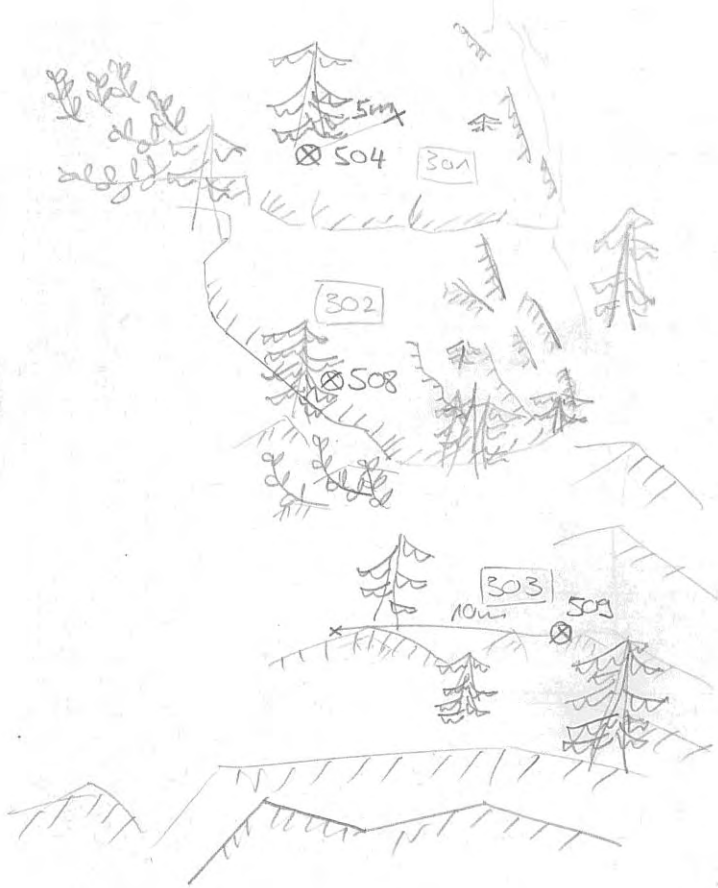


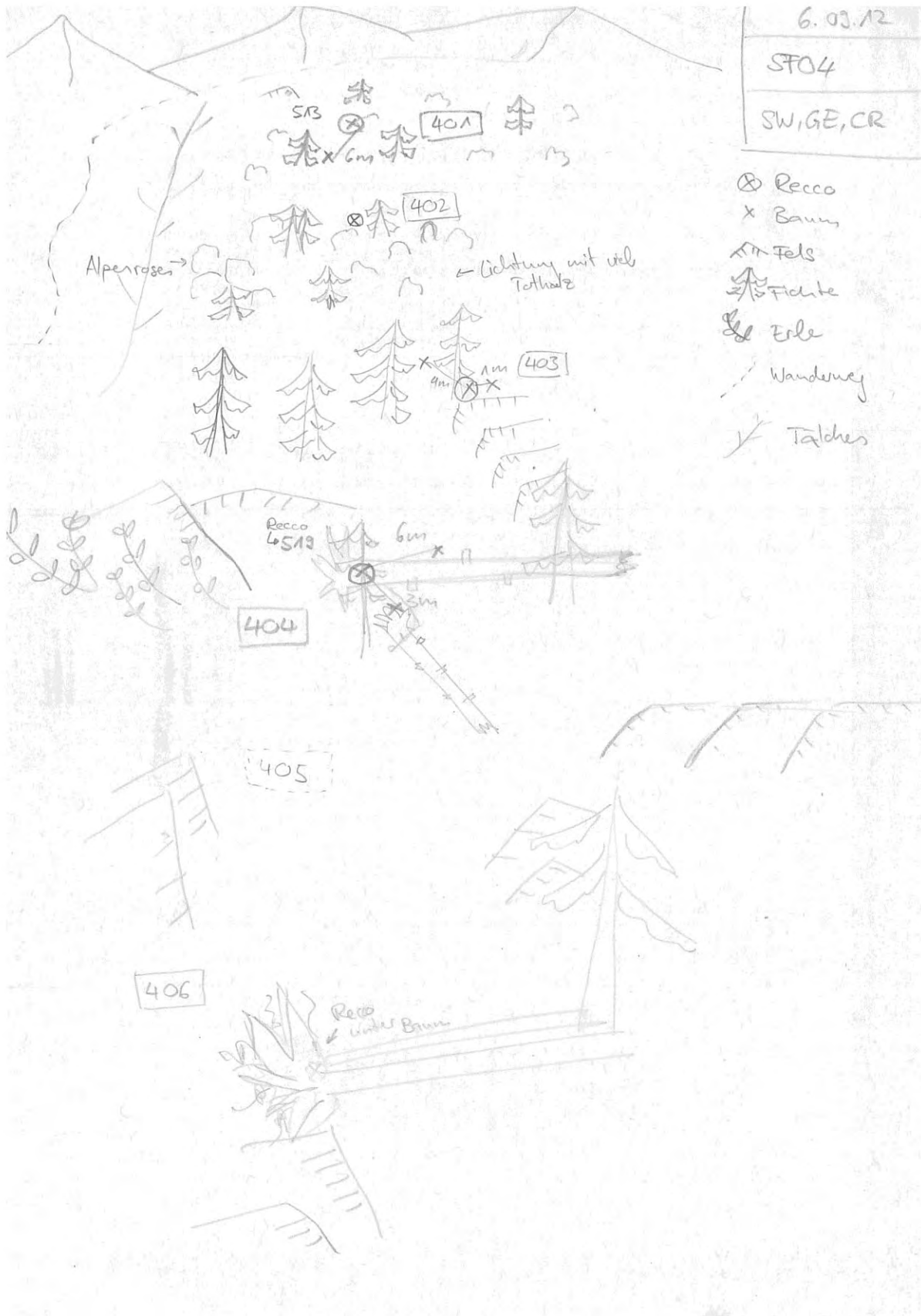
5.09.12

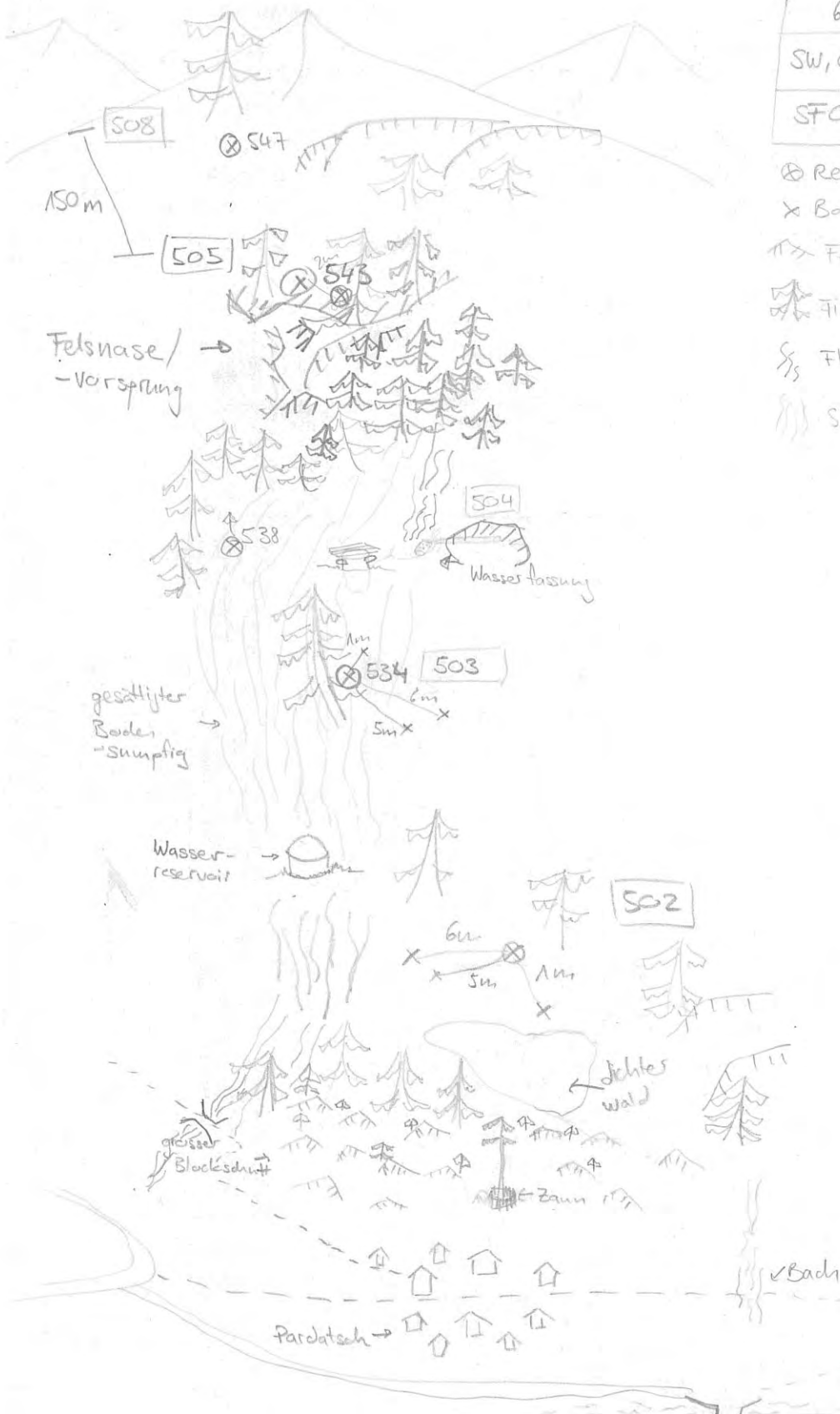
SFO3 +02

SW, GE, CR

- ⊗ Recco
- X Baum
- ⌘ Fels
- 🌲 Fichte
- 🌲 Gräser







6.09.12

SW, GE, CR

SF05

6.09.12

SW, GE, CR

SFO6

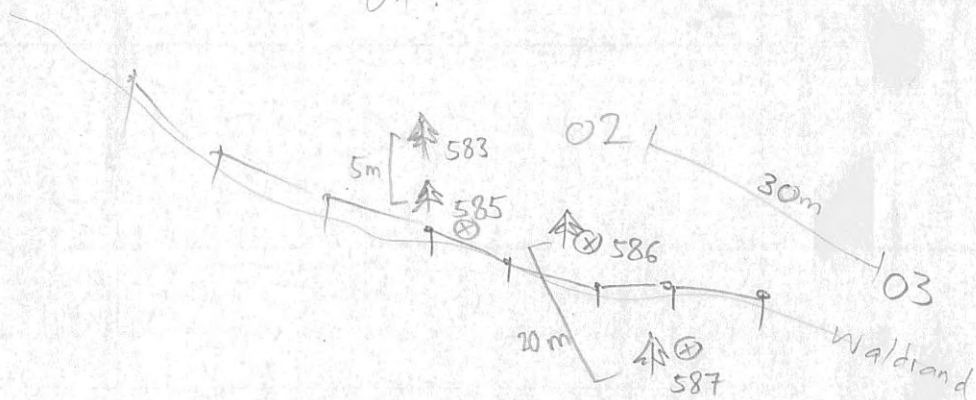
- ⊗ Recco
- x Baum
- ≡ Tische
- ⌘ Fische
- ⌘ Grünsode
- Wanderweg



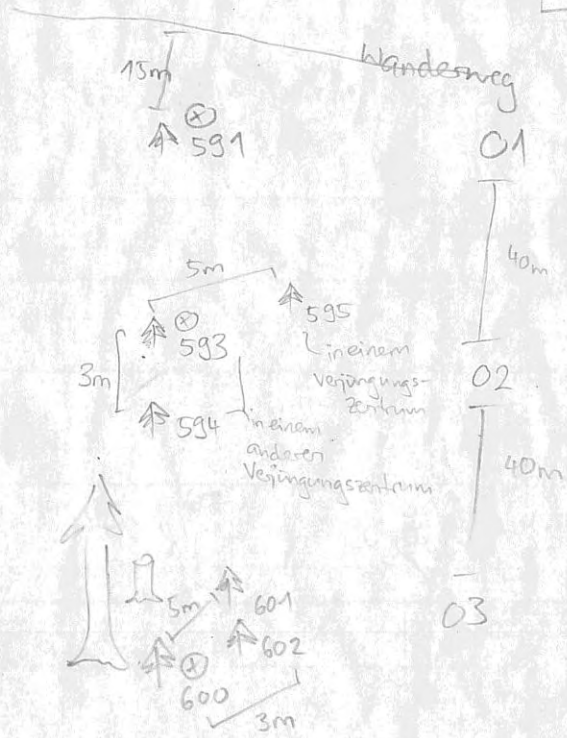
SH01



01?



SH03

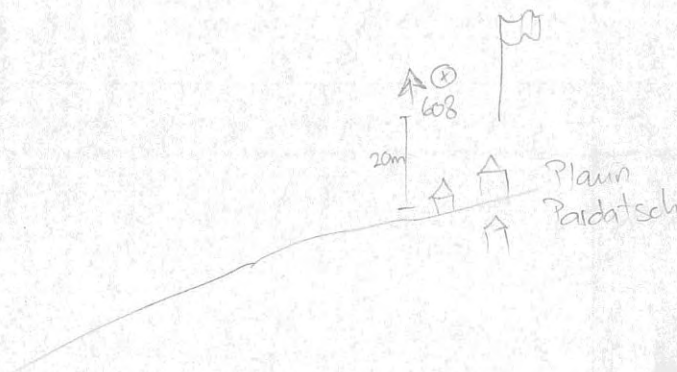


04?

S#04

02?

01



A 4: Aufnahmeprotokoll

A 4: Das Aufnahmeprotokolls des Transekts SA01, als Beispiel der Darstellung der Aufnahmeprotokolle.

Feldaufnahmen Fichtenverjüngung

Transekte
Sedrun

Helfer _____

Datum _____

Wetter _____

[illegible]

Feldaufnahmen Fichtenverjüngung

Transekte
Sedrun

Helfer _____

Datum _____

Wetter _____

[illegible]

Datum _____

Helfer _____

Wetter _____

[illegible]

Feldaufnahmen Fichtenverjüngung

Transekte
Sedrun

Helfer _____

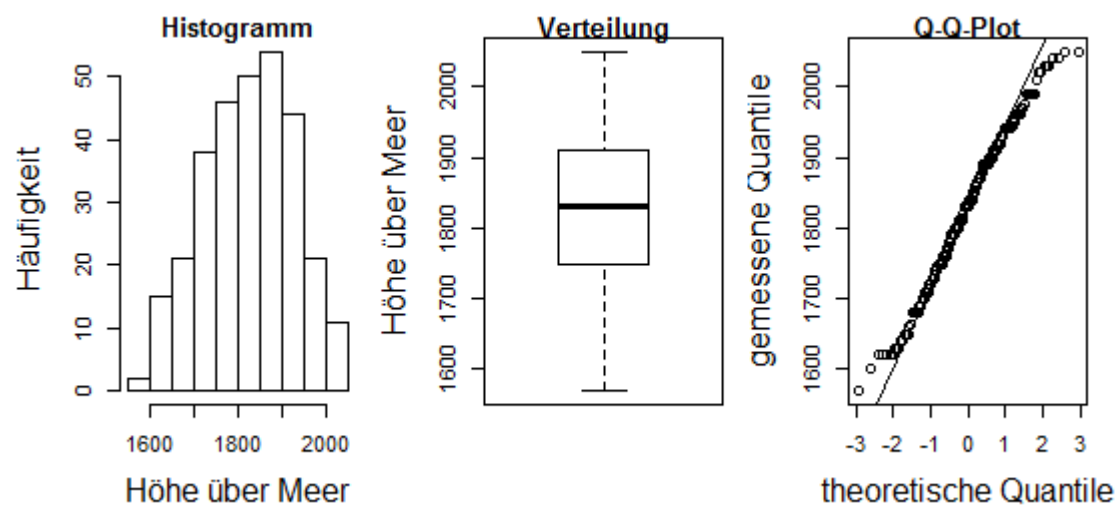
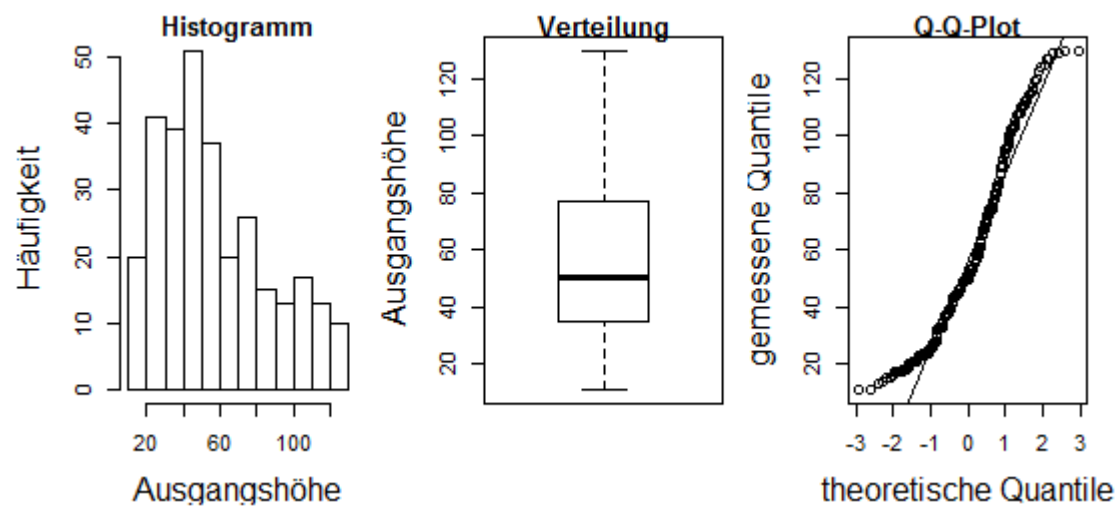
Datum _____

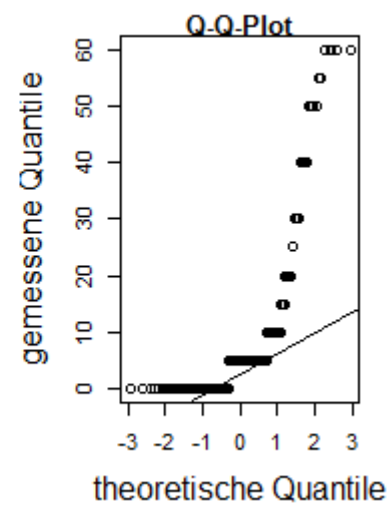
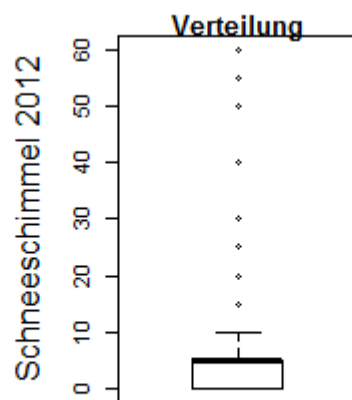
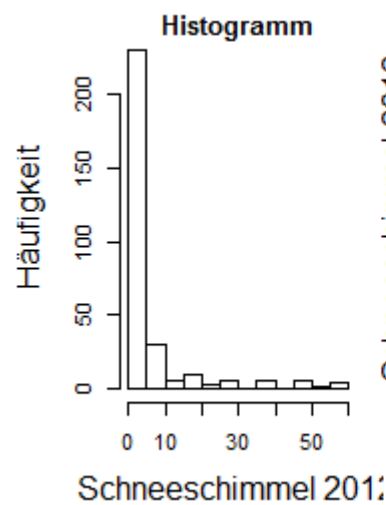
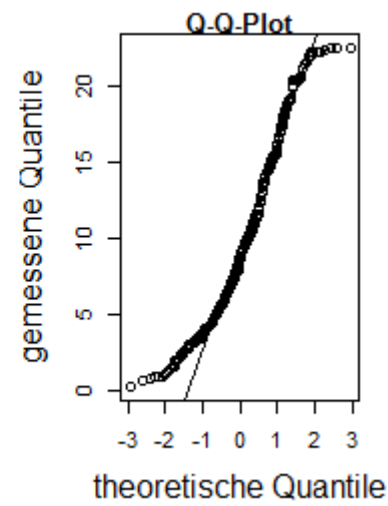
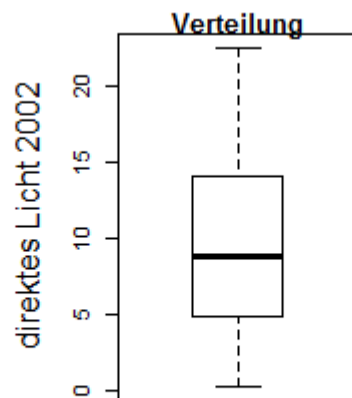
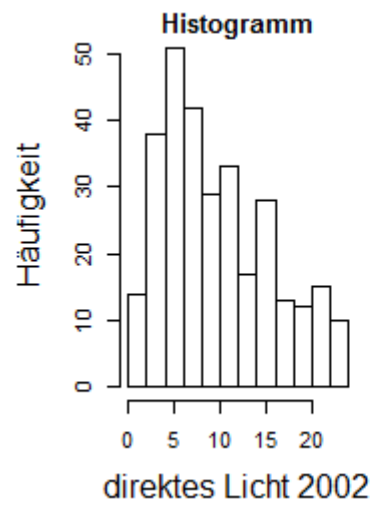
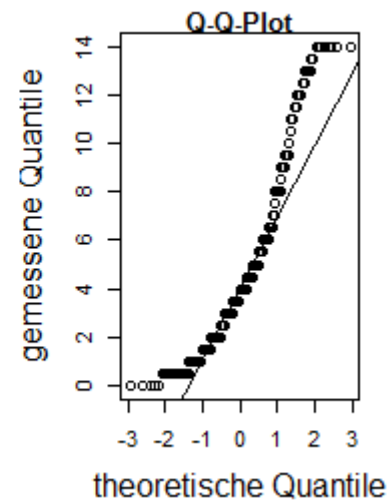
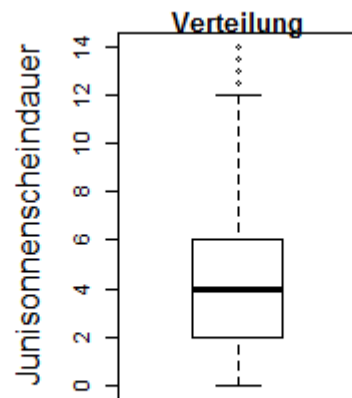
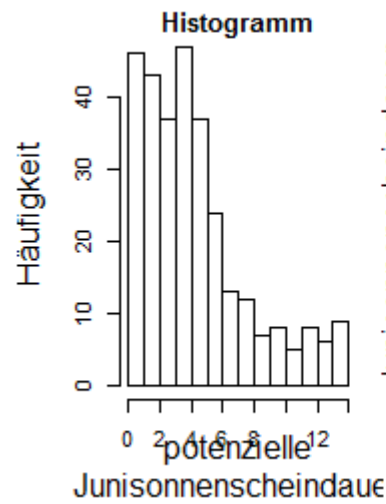
Wetter _____

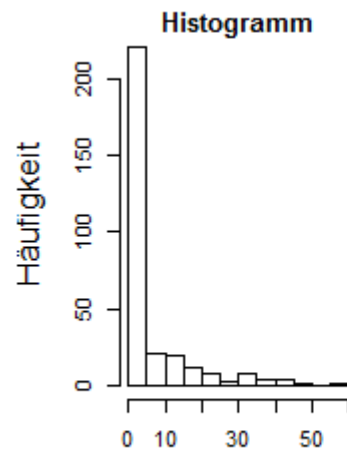
[illegible]

A 5: Verteilungen der Prädiktoren

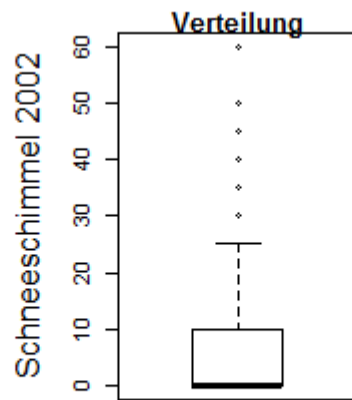
A 5: Die numerischen Prädiktoren sind wie folgt verteilt:



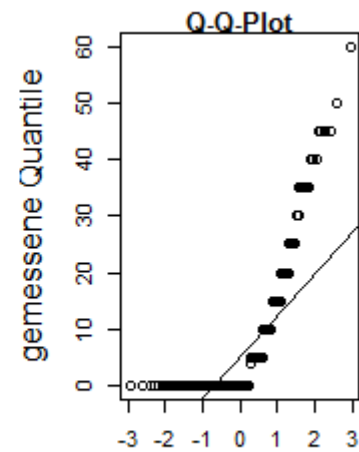




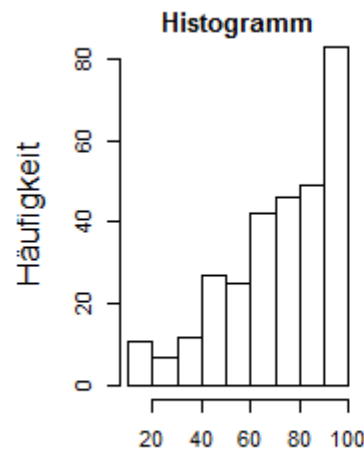
Schneeschimmel 200%



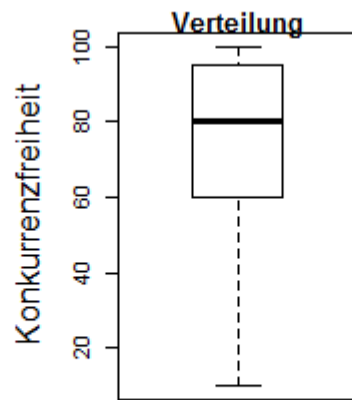
Schneeschimmel 2002



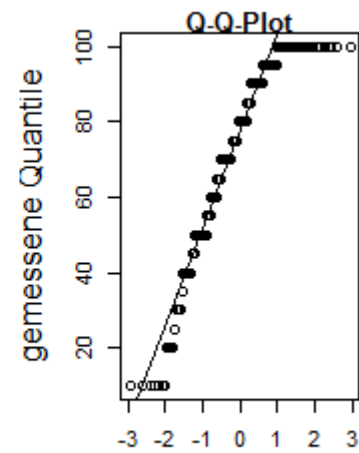
theoretische Quantile



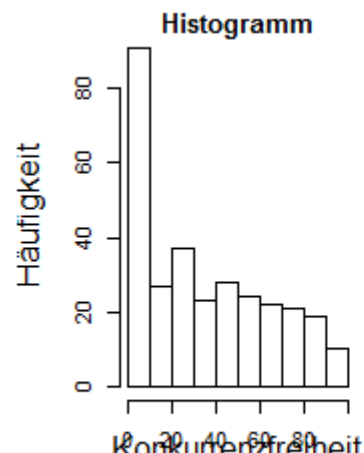
Konkurrenzfreiheit



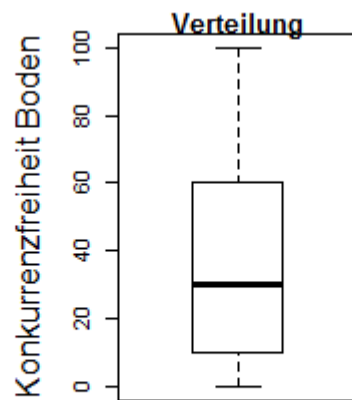
Konkurrenzfreiheit



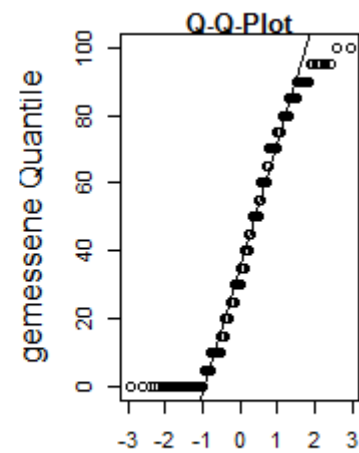
theoretische Quantile



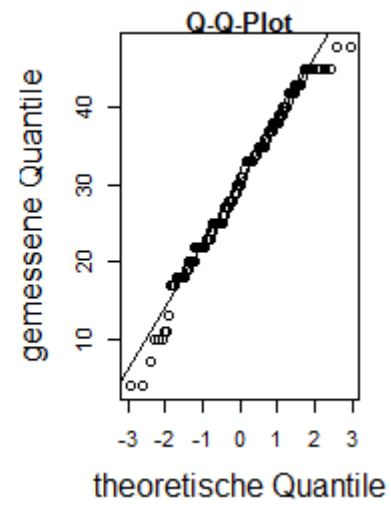
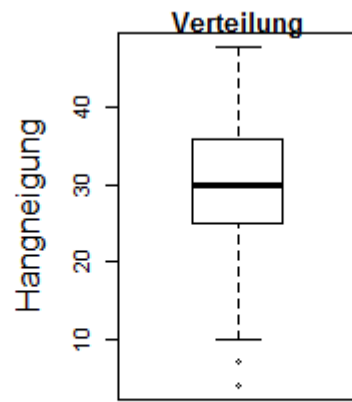
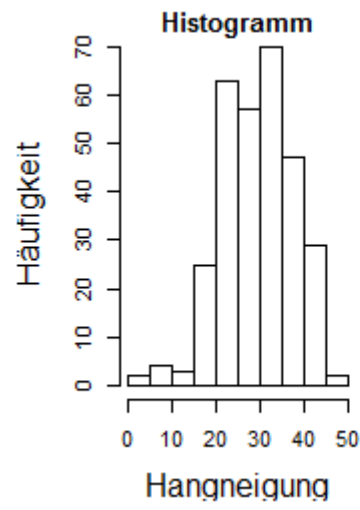
Konkurrenzfreiheit Boden



Konkurrenzfreiheit Boden



theoretische Quantile



A 6: Korrelationstabelle der Parameter

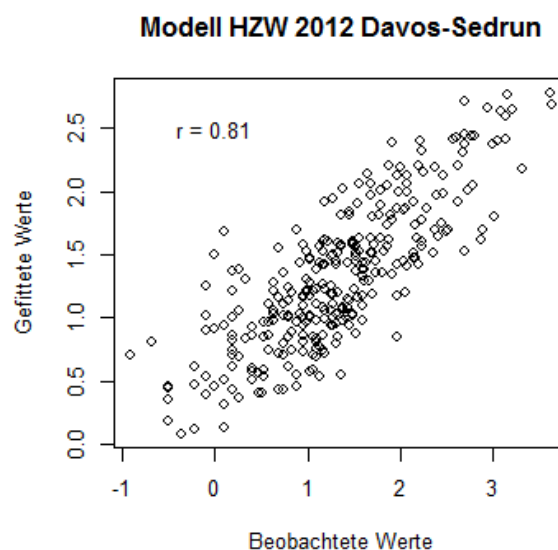
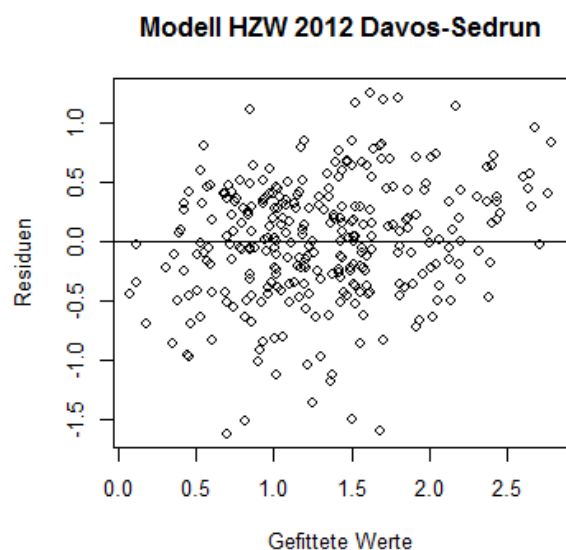
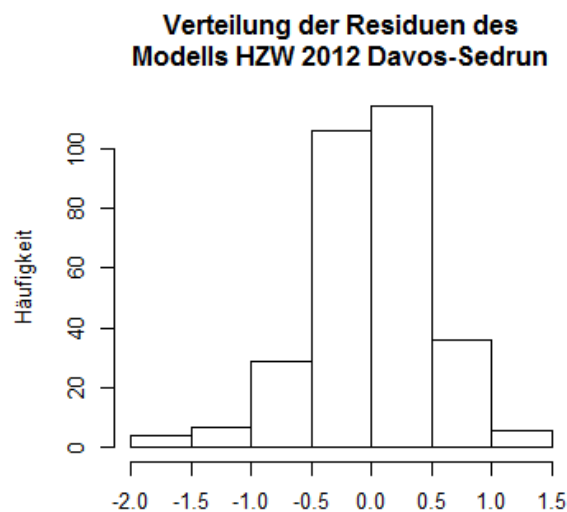
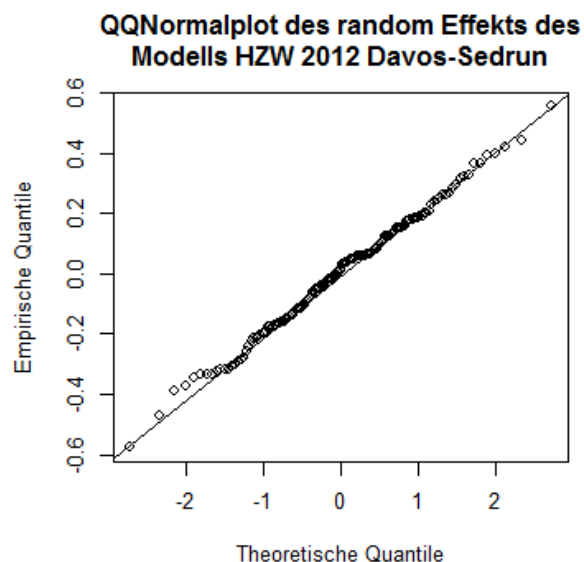
A 6: Korrelationstabelle der Parameter, die für die Modellbildung verwendet wurden.

| | jährlicher relativer Höhenzuwachs | jährlicher Höhenzuwachs | jährlicher Kronenvolumen- zuwachs | Höhe über Meer | Hangneigung | potenzielle Junisonnen- scheindauer | Ausgangs- höhe | Schnee- schimmel 2012 | Über- schirmung 2002 | Konkurrenz- freiheit 2012 | Schnee- schimmel 2002 |
|--------------------------------------|---|----------------------------|---|-------------------|--------------|---|-------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| jährlicher relativer Höhenzuwachs | 1 | 0.656130823 | 0.368196348 | -0.15366179 | -0.049243709 | 0.241771726 | -0.09433363 | -0.039608247 | -0.00730767 | -0.03321365 | -0.17168993 |
| jährlicher Höhenzuwachs | 0.656130823 | 1 | 0.812682361 | -0.0201356 | -0.049818363 | 0.299190914 | 0.532305692 | -0.103439413 | 0.473850707 | 0.142368772 | -0.06938312 |
| jährlicher Kronenvolumenzuwachs | 0.368196348 | 0.812682361 | 1 | -0.00398398 | 0.029161508 | 0.209533118 | 0.554151455 | -0.135392768 | 0.422442569 | 0.23706549 | -0.06426661 |
| Höhe über Meer | -0.153661788 | -0.020135595 | -0.00398398 | 1 | -0.030178802 | 0.300455514 | 0.149607787 | 0.043529864 | 0.186459968 | 0.133424384 | 0.151277112 |
| Hangneigung | -0.049243709 | -0.049818363 | 0.029161508 | -0.0301788 | 1 | -0.22683215 | 0.027415215 | -0.114058455 | 0.05227647 | 0.01095724 | -0.17554653 |
| potenzielle Junisonnenscheindauer | 0.241771726 | 0.299190914 | 0.209533118 | 0.300455514 | -0.226832147 | 1 | 0.160098848 | 0.206577484 | 0.207842402 | 0.078989283 | 0.124736454 |
| Ausgangshöhe | -0.094333627 | 0.532305692 | 0.554151455 | 0.149607787 | 0.027415215 | 0.160098848 | 1 | -0.082203765 | 0.774203791 | 0.204157748 | 0.120649605 |
| Schneeschemmel 2012 | -0.039608247 | -0.103439413 | -0.135392768 | 0.043529864 | -0.114058455 | 0.206577484 | -0.08220376 | 1 | -0.03674467 | 0.016807303 | 0.300400832 |
| Überschirmung 2002 | -0.00730767 | 0.473850707 | 0.422442569 | 0.186459968 | 0.05227647 | 0.207842402 | 0.774203791 | -0.036744669 | 1 | 0.171416463 | 0.065491726 |
| Konkurrenzfreiheit 2012 | -0.03321365 | 0.142368772 | 0.23706549 | 0.133424384 | 0.01095724 | 0.078989283 | 0.204157748 | 0.016807303 | 0.171416463 | 1 | 0.045807017 |
| Schneeschemmel 2002 | -0.171689925 | -0.069383121 | -0.064266607 | 0.151277112 | -0.17554653 | 0.124736454 | 0.120649605 | 0.300400832 | 0.065491726 | 0.045807017 | 1 |
| Verbiss 2002 | 0.033546488 | 0.114470998 | 0.149308219 | 0.10093235 | -0.002600042 | 0.022289862 | 0.027740826 | -0.036631408 | 0.023724569 | 0.151292092 | 0.050309165 |
| Konkurrenzfreiheit 2002 | -0.059243227 | -0.263805047 | -0.183016109 | -0.17311579 | 0.178621149 | -0.3265719 | -0.31021482 | -0.1454101 | -0.28434397 | 0.171571115 | -0.18554876 |
| direktes Licht im Juni 2002 | 0.249735208 | 0.332555015 | 0.24183463 | 0.288580703 | -0.145119027 | 0.832047859 | 0.234710297 | 0.189686796 | 0.302461898 | 0.077516088 | 0.072824728 |
| Exposition | -0.096006191 | 0.007807106 | 0.057564186 | 0.076928948 | -0.045518744 | 0.048856109 | 0.077773559 | -0.052001239 | 0.04296372 | -0.04504771 | -0.0122125 |
| Höhenstufe | -0.121386669 | -0.030734659 | -0.032125732 | 0.202534863 | -0.167435746 | 0.099631338 | 0.050854894 | 0.048888528 | -0.00769734 | 0.072494468 | 0.052339079 |
| Topografie, kleinräumig | 0.174572122 | 0.10553824 | 0.062239296 | -0.08779015 | 0.070940442 | -0.09245369 | -0.0383568 | -0.20725368 | -0.02981149 | -0.05079696 | -0.15994877 |
| Substrat | 0.079565114 | -0.0729818 | -0.094849447 | -0.14675785 | -0.014406672 | -0.12431208 | -0.15506397 | -0.163434488 | -0.13529418 | -0.04552105 | -0.17036467 |
| Verbiss 2011 | -0.051912012 | -0.134571963 | -0.088545065 | -0.03207199 | 0.098638084 | -0.07754538 | -0.17578034 | -0.11603867 | -0.11701296 | -0.03521691 | -0.08541053 |
| Verbissintensität | -0.118919299 | -0.137634225 | -0.0901927 | 0.064346574 | 0.070808178 | -0.00087998 | -0.07480276 | -0.113623788 | 0.029887917 | 0.054937906 | -0.06482463 |
| Überschirmung 2012 | -0.136377372 | -0.158193841 | -0.09835451 | -0.14342321 | 0.09282155 | -0.37818105 | -0.09446974 | -0.180030445 | -0.02751665 | -0.04667394 | -0.15870964 |

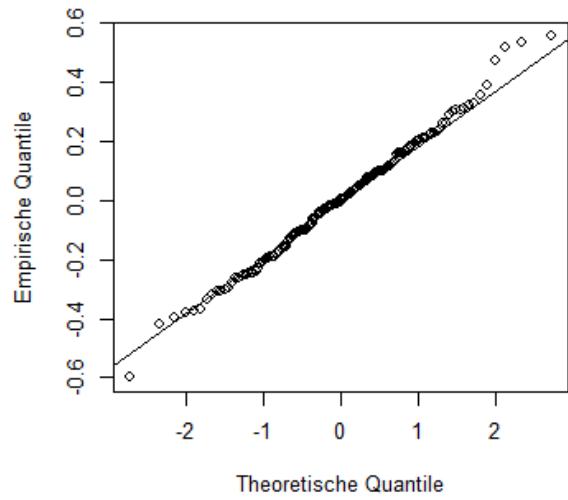
| | Verbiss 2002 | Konkurrenz- freiheit 2002 | direktes Licht im Juni 2002 | Exposition | Höhenstufe | Topogrfie, kleinräumig | Substrat | Verbiss 2011 | Verbiss- intensität | Über- schirmung 2012 |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|--------------|------------------------|----------------------------|
| jährlicher relativer Höhenzuwachs | 0.033546488 | -0.05924323 | 0.249735208 | -0.09600619 | -0.12138667 | 0.174572122 | 0.079565114 | -0.05191201 | -0.1189193 | -0.13637737 |
| jährlicher Höhenzuwachs | 0.114470998 | -0.26380505 | 0.332555015 | 0.007807106 | -0.03073466 | 0.10553824 | -0.0729818 | -0.13457196 | -0.13763422 | -0.15819384 |
| jährlicher Kronenvolumenzuwachs | 0.149308219 | -0.18301611 | 0.24183463 | 0.057564186 | -0.03212573 | 0.062239296 | -0.09484945 | -0.08854507 | -0.0901927 | -0.09835451 |
| Höhe über Meer | 0.10093235 | -0.17311579 | 0.288580703 | 0.076928948 | 0.202534863 | -0.08779015 | -0.14675785 | -0.03207199 | 0.064346574 | -0.14342321 |
| Hangneigung | -0.00260004 | 0.178621149 | -0.145119027 | -0.04551874 | -0.16743575 | 0.070940442 | -0.01440667 | 0.098638084 | 0.070808178 | 0.09282155 |
| potenzielle | | | | | | | | | | |
| Junisonnenscheindauer | 0.022289862 | -0.3265719 | 0.832047859 | 0.048856109 | 0.099631338 | -0.09245369 | -0.12431208 | -0.07754538 | -0.00087998 | -0.37818105 |
| Ausgangshöhe | 0.027740826 | -0.31021482 | 0.234710297 | 0.077773559 | 0.050854894 | -0.0383568 | -0.15506397 | -0.17578034 | -0.07480276 | -0.09446974 |
| Schneeschild 2012 | -0.03663141 | -0.1454101 | 0.189686796 | -0.05200124 | 0.048888528 | -0.20725368 | -0.16343449 | -0.11603867 | -0.11362379 | -0.18003044 |
| Überschild 2002 | 0.023724569 | -0.28434397 | 0.302461898 | 0.04296372 | -0.00769734 | -0.02981149 | -0.13529418 | -0.11701296 | 0.029887917 | -0.02751665 |
| Konkurrenzfreiheit 2012 | 0.151292092 | 0.171571115 | 0.077516088 | -0.04504771 | 0.072494468 | -0.05079696 | -0.04552105 | -0.03521691 | 0.054937906 | -0.04667394 |
| Schneeschild 2002 | 0.050309165 | -0.18554876 | 0.072824728 | -0.0122125 | 0.052339079 | -0.15994877 | -0.17036467 | -0.08541053 | -0.06482463 | -0.15870964 |
| Verbiss 2002 | 1 | 0.057989673 | -0.026815016 | -0.19455925 | -0.01281796 | -0.02486913 | -0.00590211 | 0.075981642 | 0.057939611 | 0.055128101 |
| Konkurrenzfreiheit 2002 | 0.057989673 | 1 | -0.312318141 | -0.01457235 | -0.02451854 | 0.109126095 | 0.380960562 | 0.105108024 | 0.047224529 | 0.231749044 |
| direktes Licht im Juni 2002 | -0.02681502 | -0.31231814 | 1 | 0.060198635 | 0.071090389 | -0.05948591 | -0.14773123 | -0.11041978 | -0.06979309 | -0.29451294 |
| Exposition | -0.19455925 | -0.01457235 | 0.060198635 | 1 | -0.0508365 | 0.022669463 | 0.070017533 | 0.004938691 | -0.06275095 | 0.025687757 |
| Höhenstufe | -0.01281796 | -0.02451854 | 0.071090389 | -0.0508365 | 1 | 0.041828001 | -0.01239506 | -0.07593249 | -0.00219863 | -0.09889479 |
| Topogrfie, kleinräumig | -0.02486913 | 0.109126095 | -0.059485913 | 0.022669463 | 0.041828001 | 1 | 0.253316196 | -0.00394858 | -0.07086298 | 0.146556521 |
| Substrat | -0.00590211 | 0.380960562 | -0.147731231 | 0.070017533 | -0.01239506 | 0.253316196 | 1 | 0.038437135 | 0.009322003 | 0.002048002 |
| Verbiss 2011 | 0.075981642 | 0.105108024 | -0.110419781 | 0.004938691 | -0.07593249 | -0.00394858 | 0.038437135 | 1 | 0.686944145 | 0.077505368 |
| Verbissintensität | 0.057939611 | 0.047224529 | -0.069793088 | -0.06275095 | -0.00219863 | -0.07086298 | 0.009322003 | 0.686944145 | 1 | 0.127314617 |
| Überschild 2012 | 0.055128101 | 0.231749044 | -0.294512938 | 0.025687757 | -0.09889479 | 0.146556521 | 0.002048002 | 0.077505368 | 0.127314617 | 1 |

A 7: Zusätzliche Darstellungen zu den Modellen

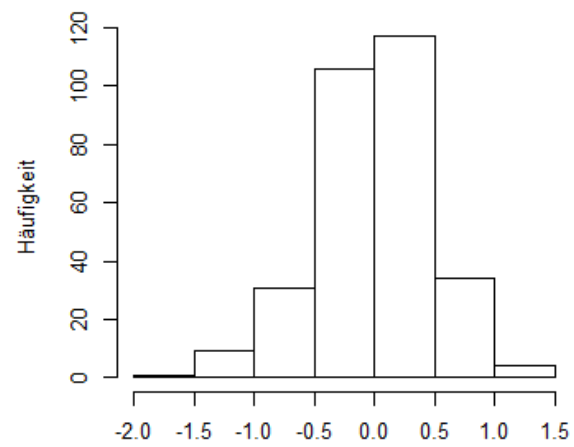
A 7: Im Folgenden sind der Q-Q-Normalplot des random Effekts und die Verteilung der Residuen der jeweiligen Modelle dargestellt. Des Weiteren werden die gefitteten Werte den Residuen und den beobachteten Werten gegenübergestellt.



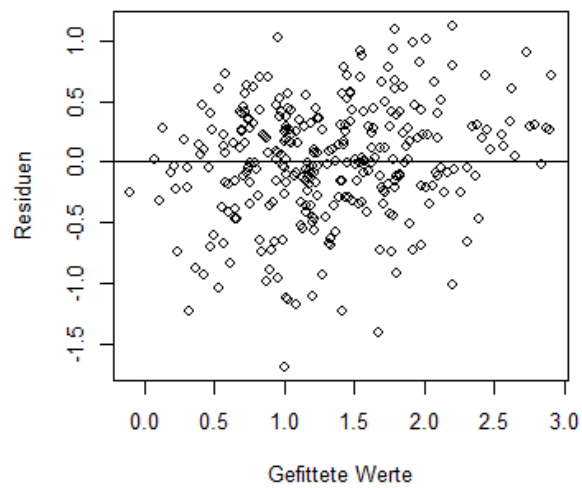
QQNormalplot des random Effekts des Modells HZW 2002 Davos-Sedrun



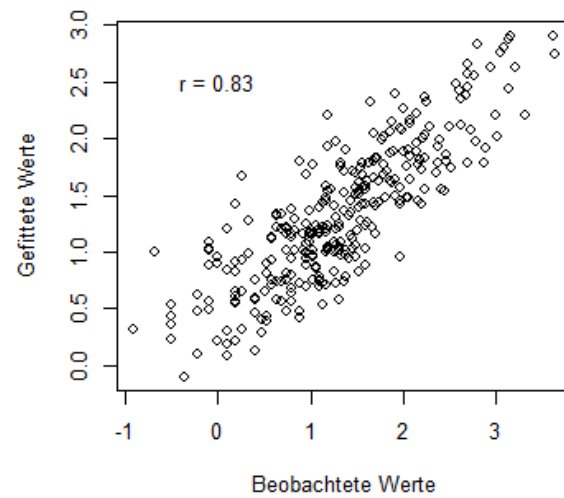
Verteilung der Residuen des Modells HZW 2002 Davos-Sedrun



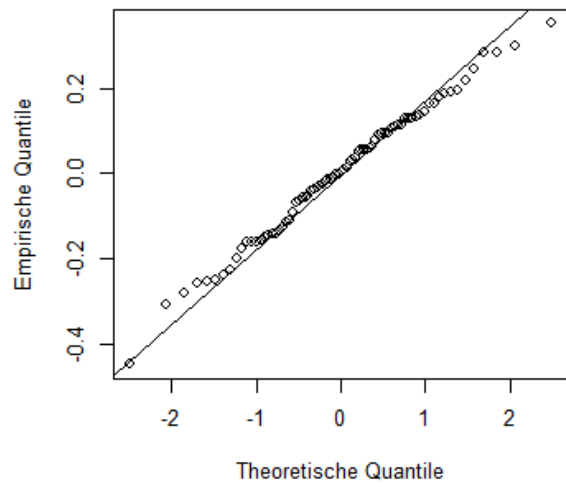
Modell HZW 2002 Davos-Sedrun



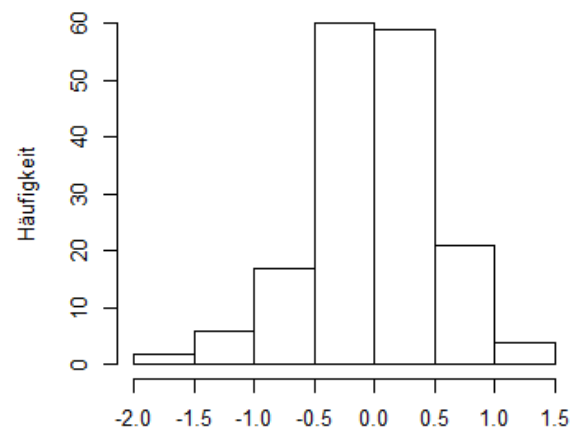
Modell HZW 2002 Davos-Sedrun



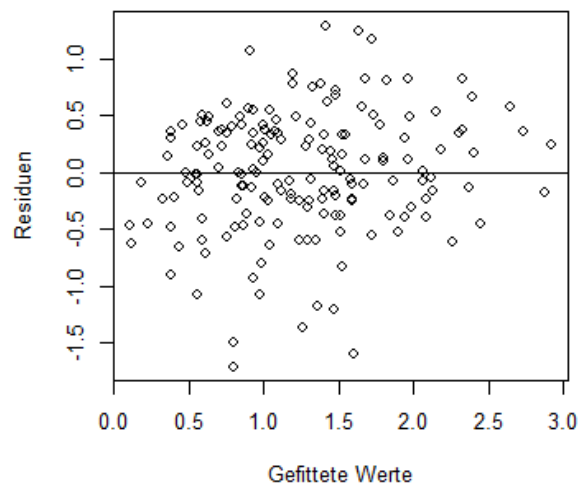
QQNormalplot des random Effekts des Modells HZW 2012 Davos



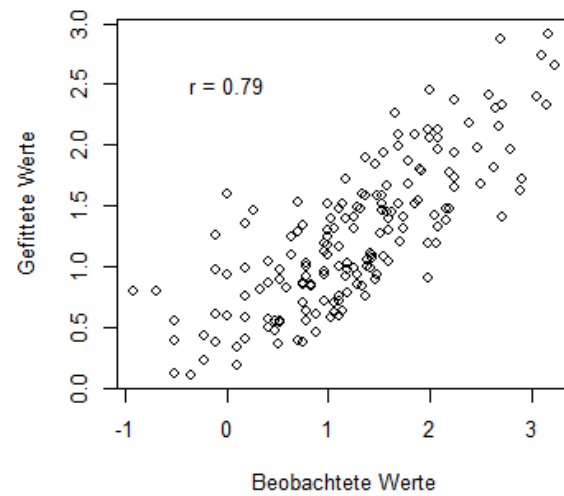
Verteilung der Residuen des Modells HZW 2012 Davos



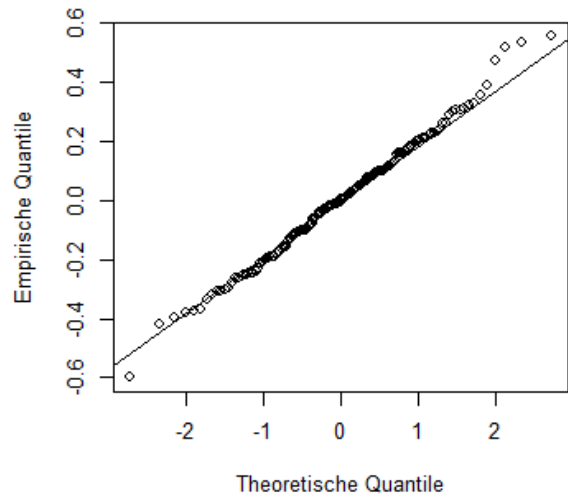
Modell HZW 2012 Davos



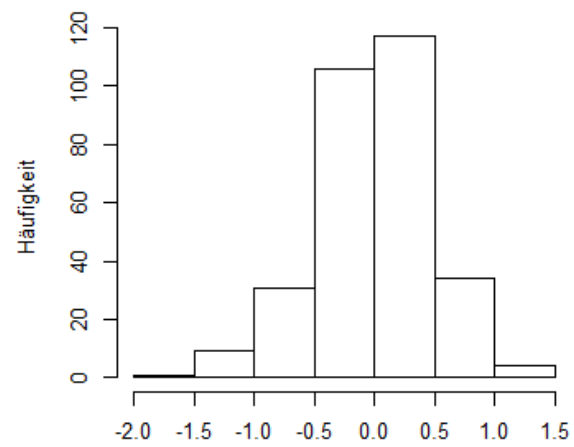
Modell HZW 2012 Davos



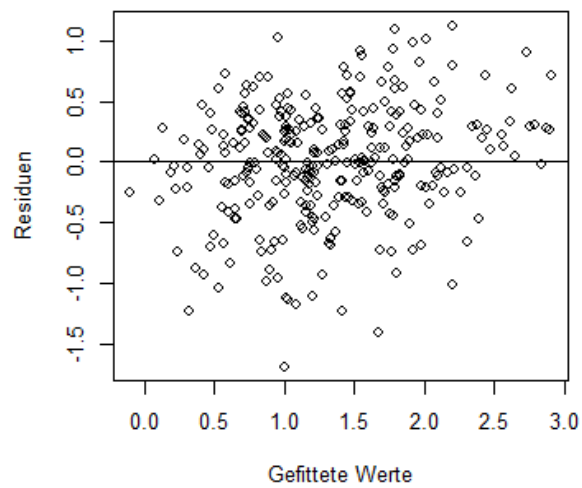
QQNormalplot des random Effekts des Modells HZW 2002 Davos-Sedrun



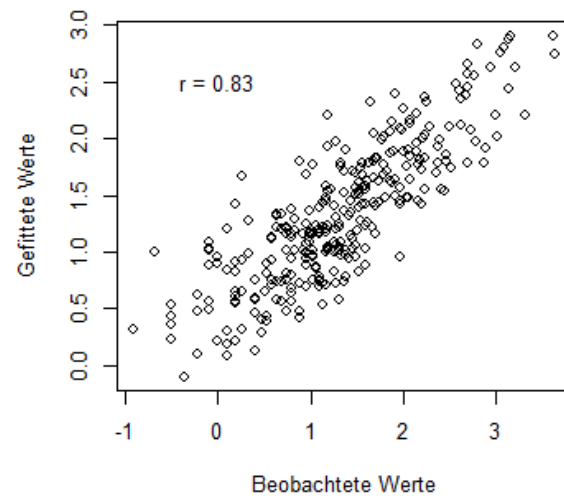
Verteilung der Residuen des Modells HZW 2002 Davos-Sedrun



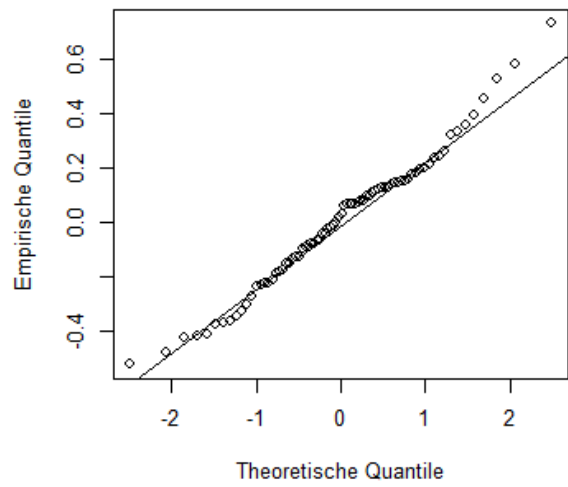
Modell HZW 2002 Davos-Sedrun



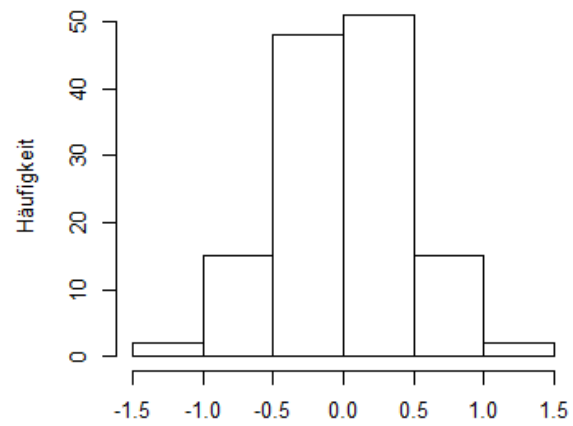
Modell HZW 2002 Davos-Sedrun



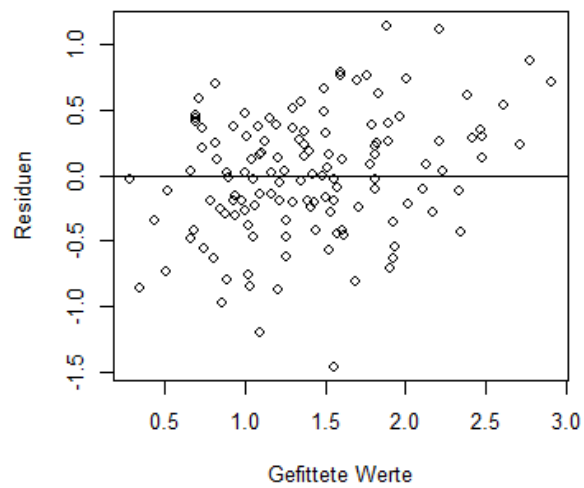
QQNormalplot des random Effekts des Modells HZW 2012 Sedrun



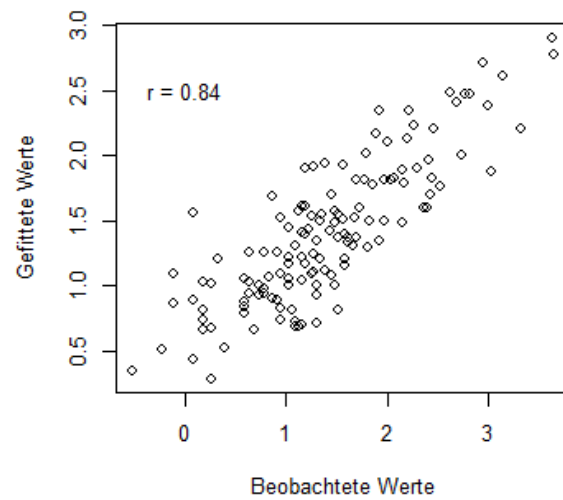
Verteilung der Residuen des Modells HZW 2012 Sedrun



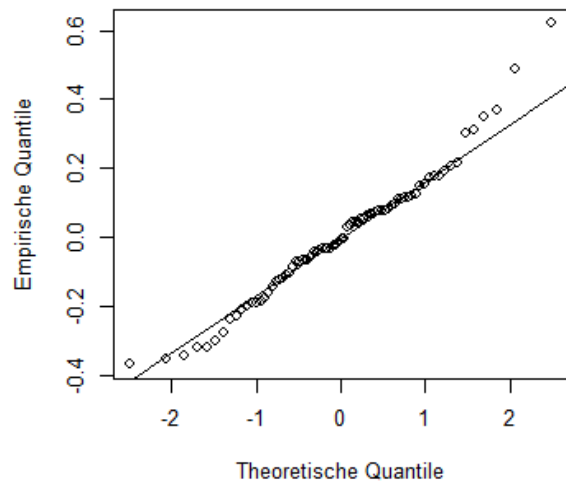
Modell HZW 2012 Sedrun



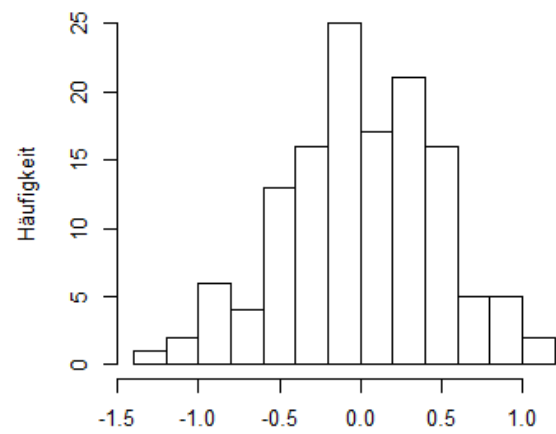
Modell HZW 2012 Sedrun



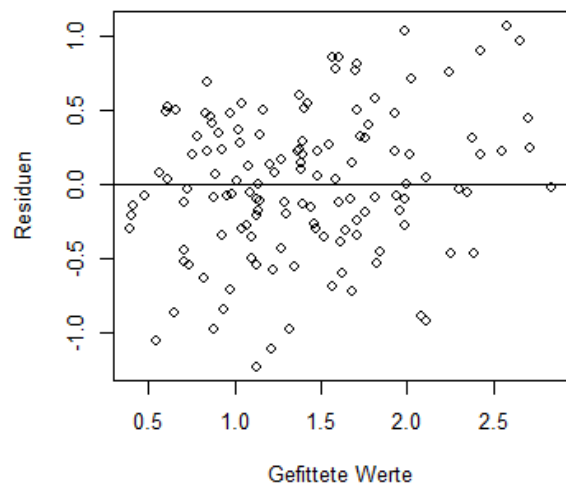
QQNormalplot des random Effekts des Modells HZW 2002 Sedrun



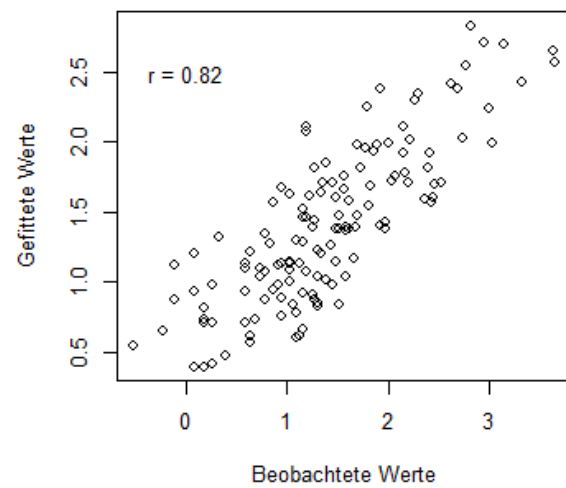
Verteilung der Residuen des Modells HZW 2002 Sedrun



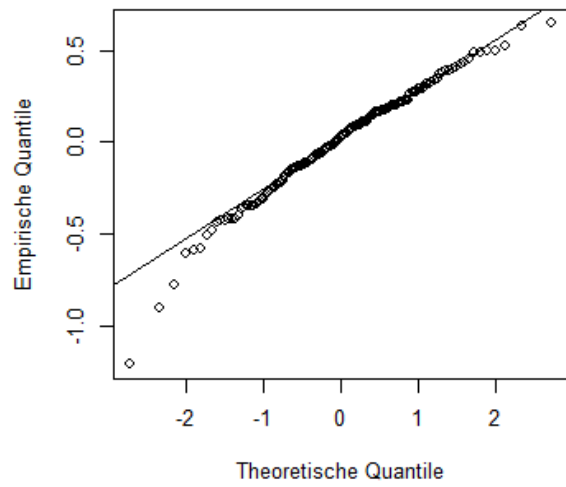
Modell HZW 2002 Sedrun



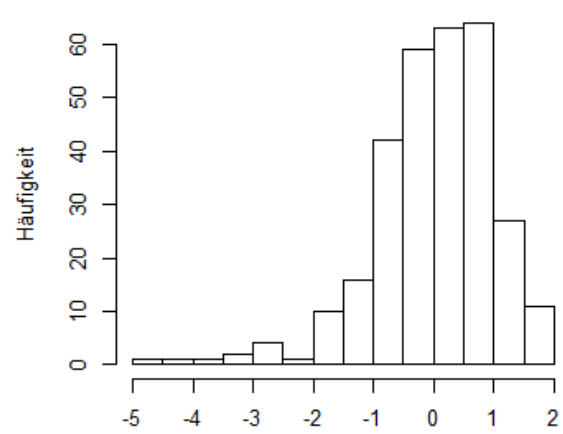
Modell HZW 2002 Sedrun



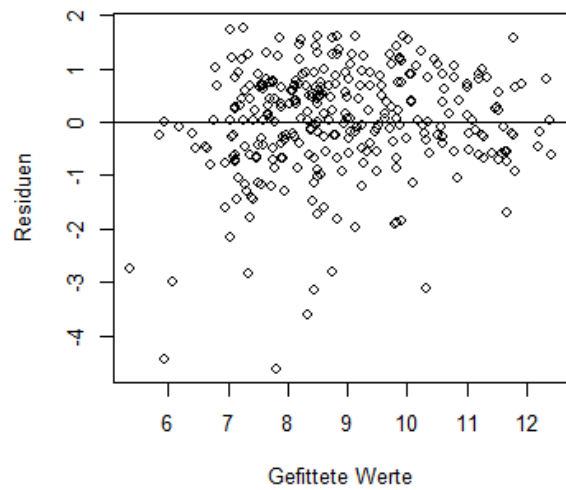
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2012 Davos-Sedrun



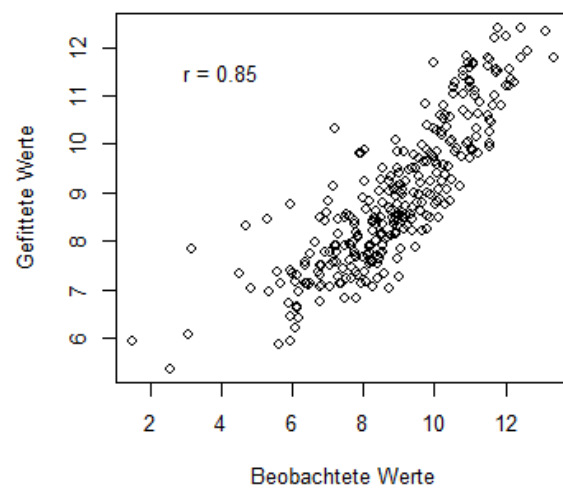
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2012 Davos-Sedrun



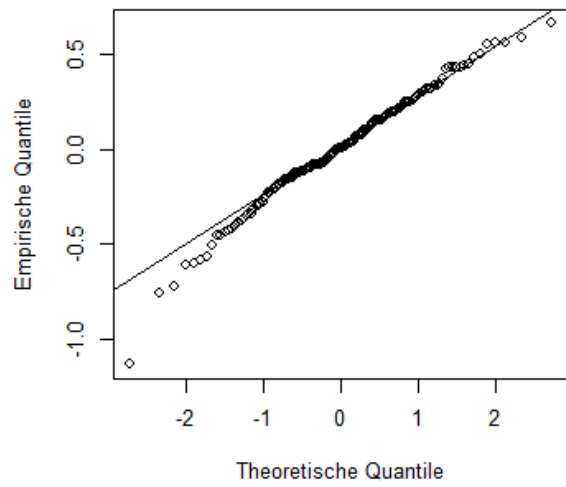
Modells KVZ 2012 Davos-Sedrun



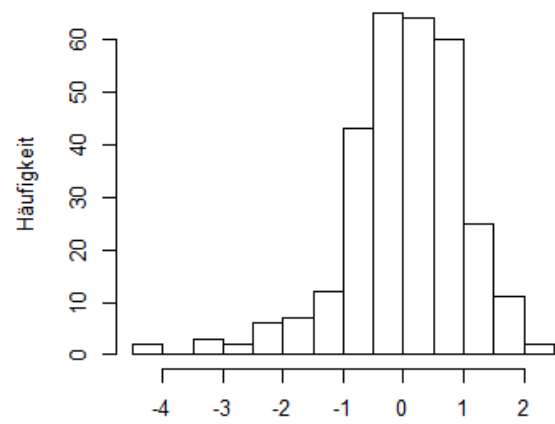
Modells KVZ 2012 Davos-Sedrun



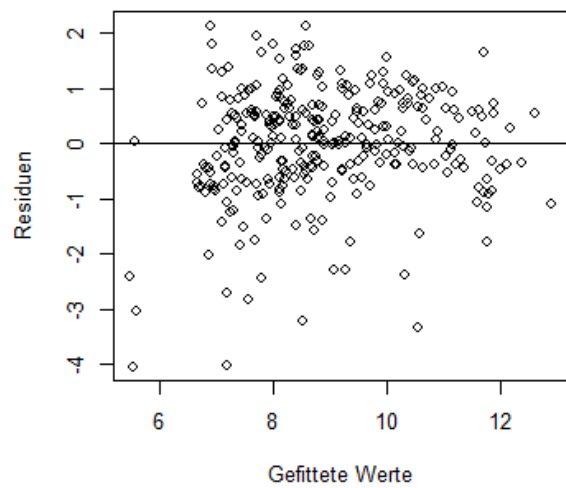
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2002 Davos-Sedrun



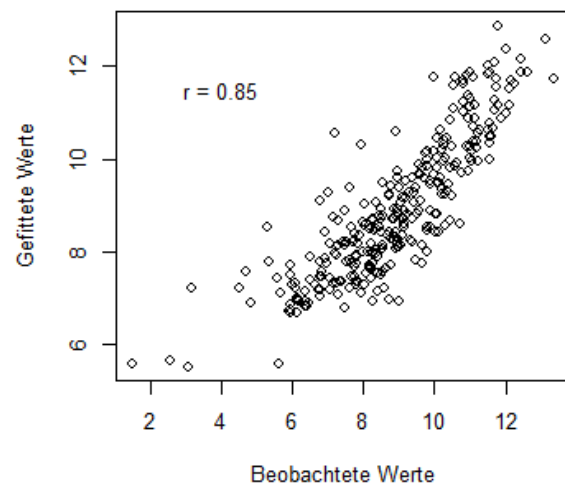
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2002 Davos-Sedrun



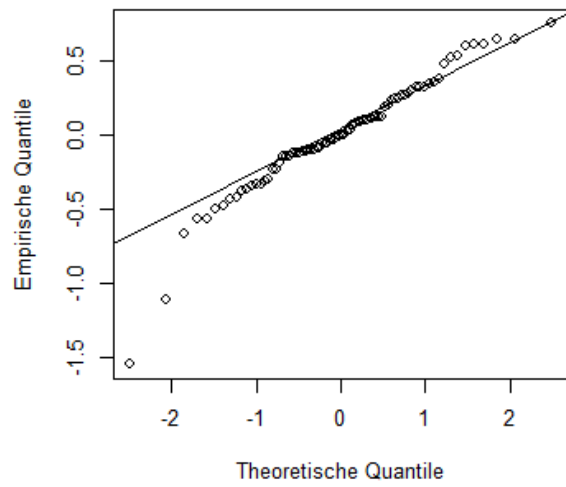
Modells KVZ 2002 Davos-Sedrun



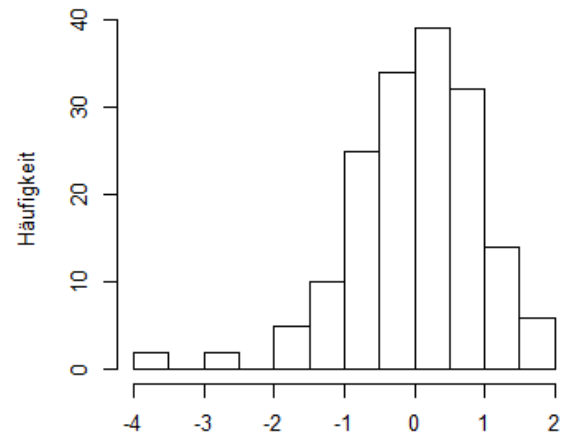
Modells KVZ 2002 Davos-Sedrun



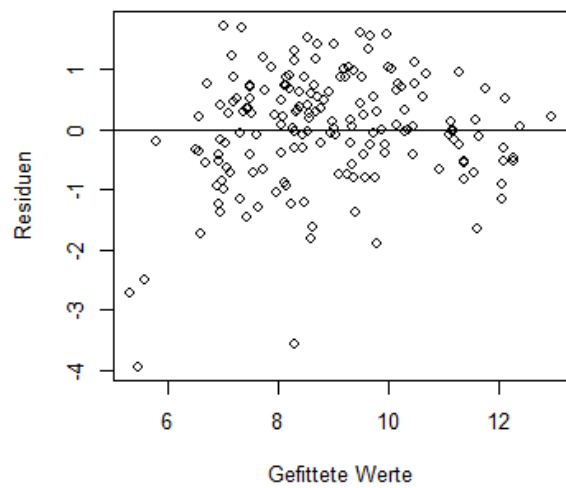
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2012 Davos



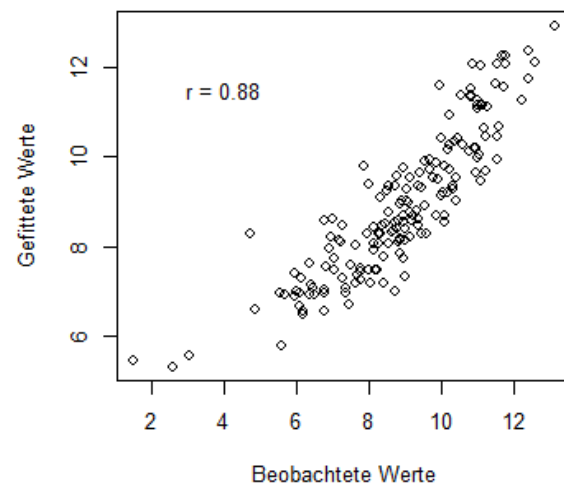
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2012 Davos



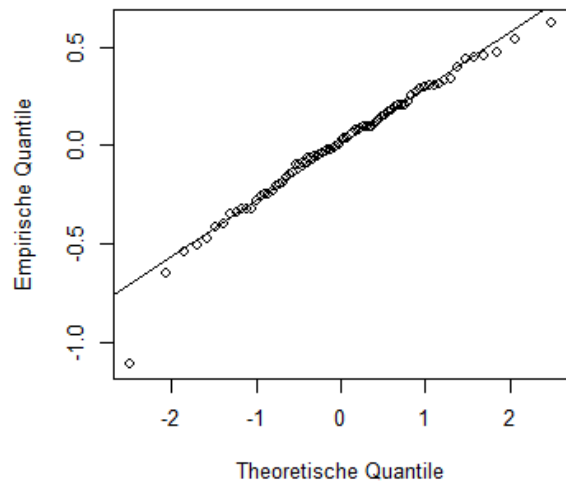
Modells KVZ 2012 Davos



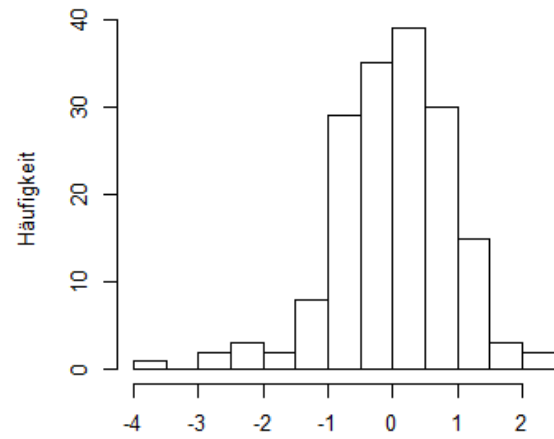
Modells KVZ 2012 Davos



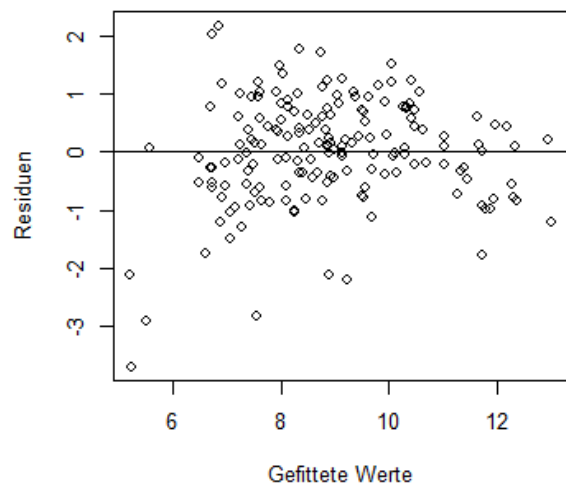
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2002 Davos



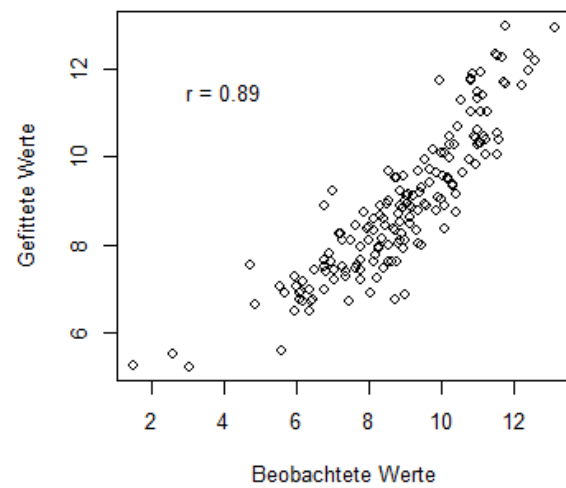
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2002 Davos



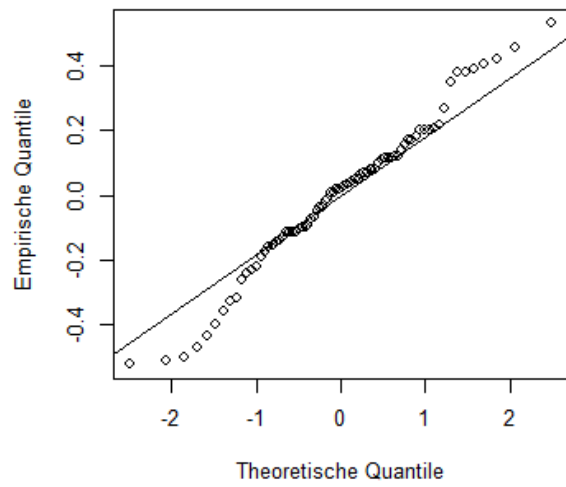
Modells KVZ 2002 Davos



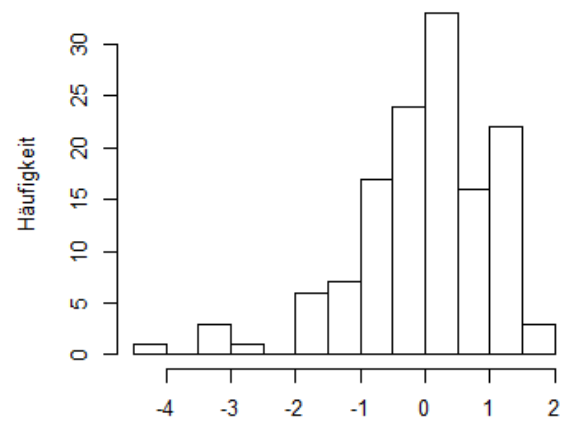
Modells KVZ 2002 Davos



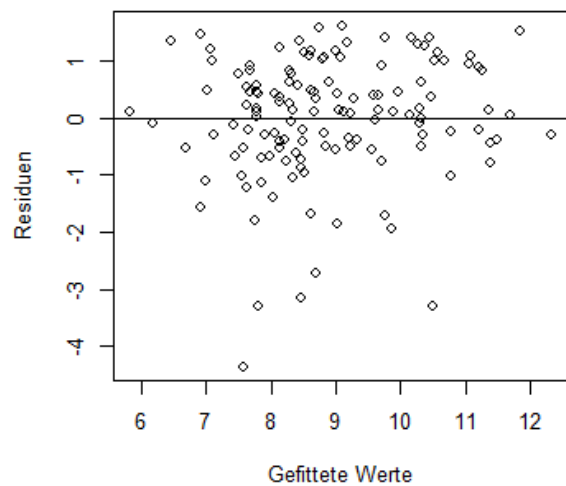
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2012 Sedrun



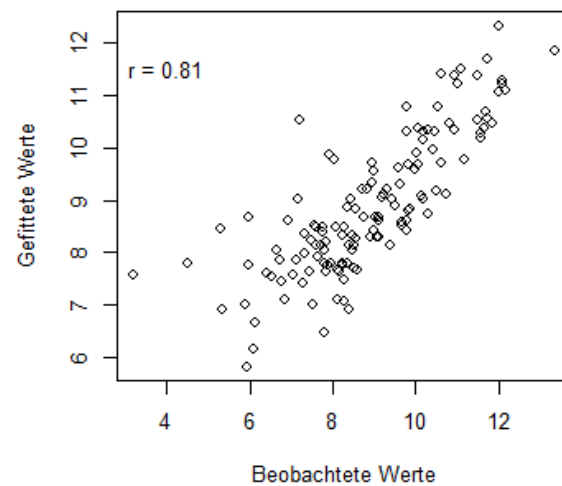
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2012 Sedrun



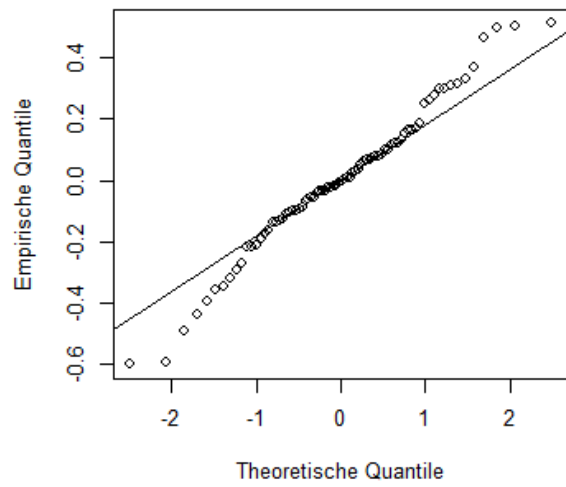
Modells KVZ 2012 Sedrun



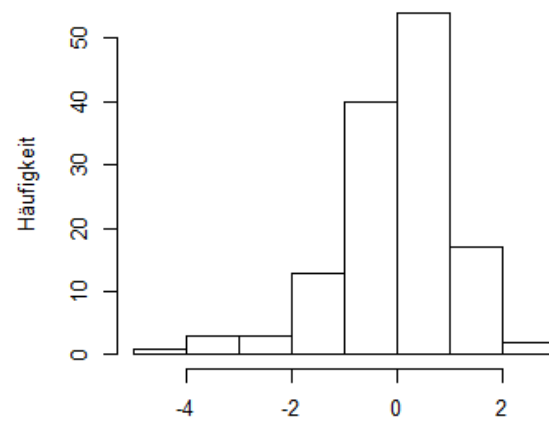
Modells KVZ 2012 Sedrun



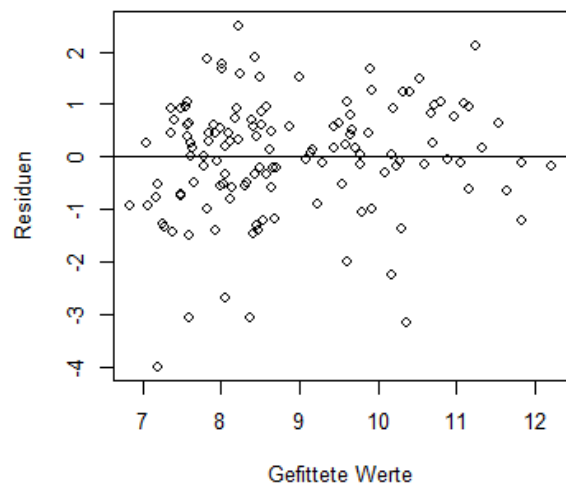
QQNormalplot des random Effekts des Modells KVZ 2002 Sedrun



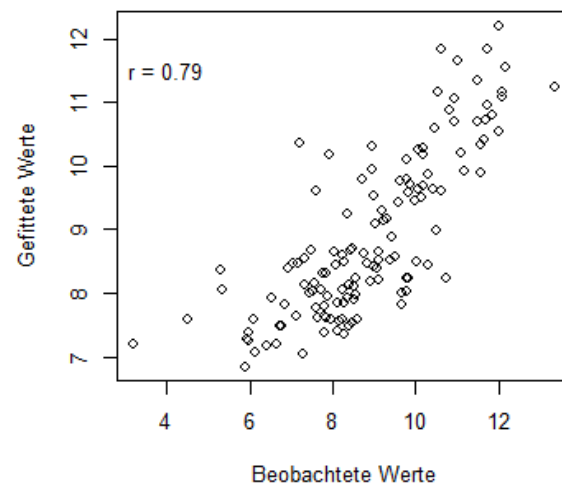
Verteilung der Residuen des Modells KVZ 2002 Sedrun



Modells KVZ 2002 Sedrun



Modells KVZ 2002 Sedrun



A 8: Datenauszug der toten Bäume

A 8: Dies ist ein Auszug aller gefundenen toten Bäume aus den Daten. Für diese Darstellung wurden nur einige relevante Parameter ausgewählt.

| Transekt- punkt | Nr | Eposition und Region | Höhe über Meer [m] | Hang- neigung [°] | Ausgangs- höhe [cm] | Höhen- klasse | potenzielle Junisonnen- scheindauer 2012 [h] | direktes Licht 2002 [Mol/(m ² *d)] | jährliches Endtrieb- wachstum 1998-2002 [cm] | Konkurrenz- freiheit 2012 auf halber Baumhöhe [%] | Konkurrenz- freiheit 2002 am Boden [%] | Schnee- schimmel im 2002 [%] | Mikro- topografie, klein- räumig | Substrat | Verbiss 2002 |
|--------------------|-----|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---|---|--|---|---|---------------------------------------|---|----------|-----------------|
| DA0201 | 17 | DS | 1680 | 27 | 62 | C | 0 | 5.72 | 1.75 | 65 | 30 | 0 | Ku | B | 1 |
| DA0202 | 18 | DS | 1700 | 30 | 29 | A | 0.5 | 1.76 | 0.85 | 65 | 50 | 0 | Eb | B | 0 |
| DA0207 | 29 | DS | 1850 | 35 | 30 | A | 2.5 | 9.49 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | Eb | B | 0 |
| DA0301 | 39 | DS | 1950 | 43 | 33 | B | 2.5 | | 0.7 | 10 | 60 | 0 | Eb | B | 0 |
| DA0403 | 50 | DS | 1840 | 38 | 25 | A | 2 | 5.22 | 0.5 | 80 | 80 | 0 | Eb | B | 1 |
| DB0102 | 75 | DN | 1660 | 45 | 29 | A | 1 | 0.65 | 0.65 | 95 | 40 | 0 | Eb | B | 0 |
| DB0504 | 206 | DN | 1920 | 45 | 26 | A | 6.5 | 9.84 | 1.1 | 75 | 50 | 35 | Eb | MB | 0 |
| SB0105 | 413 | SS | 1770 | 30 | 39 | B | 0.5 | 1.62 | 1 | 100 | 90 | 30 | Eb | B | 0 |
| SB0201 | 416 | SS | 1600 | 38 | 127 | C | 1 | 6.89 | 3.3 | 30 | 20 | 0 | Eb | B | 0 |
| SB0206 | 425 | SS | 1745 | 25 | 85 | C | 4.5 | 11.79 | 1.5 | 85 | 15 | 20 | Eb | B | 0 |
| SB0206 | 427 | SS | 1745 | 25 | 22 | A | 5.5 | 16.47 | 1.75 | 65 | 55 | 0 | Ku | MH | 0 |
| SB0407 | 461 | SS | 1830 | 24 | 66 | C | 10 | 19.72 | 1.75 | 50 | 15 | 5 | Eb | B | 0 |
| SB0501 | 465 | SS | 1900 | 25 | 32 | B | 1.5 | 15.57 | 1.45 | 55 | 15 | 45 | Eb | B | 0 |
| SB0502 | 466 | SS | 1940 | 35 | 79 | C | 0 | 17.82 | 1.9 | 90 | 20 | 45 | Eb | B | 0 |
| SF0505 | 543 | SW | 1770 | 48 | 20 | A | 0 | 2.3 | 0.75 | 100 | 95 | 0 | Ku | B | 0 |
| SF0508 | 547 | SW | 1860 | 43 | 45 | B | 0 | 2.61 | 1.85 | 80 | 50 | 0 | Eb | B | 0 |

Exposition: DS=Davos Süd; DN=Davos Nord; SS=Sedrun Süd; SW=Sedrun West.

Mikrotopografie, kleinräumig: Ku=Kuppe; Mu=Mulde; Eb=Ebene.

Substrat: B=Boden; MB=Mineralboden; MH=Moderholz.

A 9: Feldtagebuch

A 9: Im Feldtagebuch sind nützliche Notizen zu den Transektpunkten aufgeführt. Sie enthalten unter anderem die Information, wo sich neue Recco-Reflektoren befinden. Wenn der GPS-Empfang gut (<15m) war, wurden die Koordinaten mindestens eines Reccos pro Transektpunkt aufgenommen.

| Punkt | Neue Koordinaten vom Recco | Platzierung des neuen Reccos | Fundort Recco | Fundort Nr. | Notiz zum Standort | sonstige Notizen |
|--------|----------------------------|--|---|--------------------|-----------------------------|---|
| SG0206 | | Recco am unteren Ast einer grossen Fichte | | | am Wanderweg runter | |
| SG0202 | 701881/169225 | Neues Recco an freistehende Fichte | nur Recco gefunden im Streu | keine Nr. gefunden | grad am Rand der Baumgrenze | |
| SG0203 | | | nur 1 Recco mit Nr. 617 im Streu gefunden | | | |
| SG0201 | | 2 Reccos am Standort | | | | |
| SG0101 | | 3 Reccos am Standort, Zentrum an mittelgrosser Fichte mit viel Flechten, an Waldrandgrenze, ist das unterste der drei Reccos | | | | |
| SG0105 | 701973/169044 | | kein Recco gefunden | | | |
| SG0104 | | Recco ist an grosser Verjüngung, die von anderer Fichte abgedrückt wird. Recco unter Baum. | | | | 2. Baum ca. 10m weiter links (bergauf schauend) und unterhalb vom Reccobaum, oberhalb vom Wanderweg |
| SG0103 | 701876/169081 | Recco unterhalb von Weg zwischen 2 langen Fichtentotholz. | Recco an neuem Ort, weil von grosser Fichte die umgefallen ist zerdrückt. | | | |

| | | | | | | |
|--------|---------------|---|---|--------------------------|---|--|
| SA0604 | 701415/169174 | | loses Recco gefunden am Boden gefunden | keinen Baum gefunden | | |
| SA0605 | 701542/169131 | Neues Recco an Nr. 376 | | | | |
| SA0606 | 701463/169085 | Neues Recco an Nr. 380 | kein Recco gefunden | | | |
| SA0702 | 701550/169203 | Neues Recco an Nr. 387 | kein Recco gefunden | | | |
| SA0101 | 703071/169305 | Neues Recco an Nr. 318 | Kein Recco gefunden | | | |
| SA0106 | 703185/169094 | Neues Recco an Nr. 333 | Kein Recco gefunden | | viele junge Fichten abgeschnitten, nur noch Strünckchen sichtbar. | |
| SA0301 | 703874/169230 | Neues Recco an 354 (oberhalb vom Zaun, grad unter dem 2. Haus (westlicheres Haus) | Kein Recco gefunden | | | |
| SA0209 | | | Kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | Wanderweg und Beweidung | |
| SA0208 | 703571/168933 | Neues Recco an Nr. 350 | Recco mit Nr. 349 unter Moos gefunden | | | |
| SA0206 | | | Kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | viel Totholz in Runse | |
| SA0204 | | Kein neues Recco gesetzt, da keine Nummern mehr gefunden! | Nur Recco lose am Boden gefunden an einem Bambusast | keine Nummer gefunden | | |
| SA0203 | | | | | in Runse, viel Totholz, Verjüngung nur auf Wurzelteller oder liegendem Totholz, viel Farn (Farn dominiert und ist gross) | |
| SA0202 | 703536/169164 | Neues Recco an Nr. 336 | Kein Recco gefunden | | | |
| SB0401 | | 2 Reccos am Standort | | | | |
| SB0403 | | 2 Reccos am Standort; jeweils an Nr. 447 und Nr. 449 | | | | |
| SB0404 | | 1 Recco an Nr. 452, am Baum hangaufwärts links | | | | |
| SB0405 | | 3 Reccos am Standort; jeweils an Nr. 455, Nr. 456 und Nr. 457 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|------------------------|---|----------------------|------------------------|---|---|
| SB0407 | 704115/171514 | 2 Reccos am Standort; jeweils an Nr. 460 und Nr. 462 ; (Koordinaten der Nr. 462 angegeben) | | | | |
| SB0102 | 703866/171332 | 1 Recco an Nr. 406 | | | Abholzung, Runse. | |
| SB0201 | 704346/171272 | 1 Recco an Nr. 415 | | | | |
| SB0202 | 704321/171334 | 1 Recco an Nr. 418 | | | | |
| SB0204 | | Nur 1 Standortsrecco an grosser Fichte, keine Bäume an diesem Standort | | | | |
| SB0205 | 704288/171410 | 1 Recco an Nr. 423 | | | | |
| SB0206 | | 1 Recco an grossem Baum | | | | |
| SB0207 | 704253/171492 | 1 Recco an Nr. 428 | | | | |
| SB0301 | 704284/171490 | 2 Recco, jeweils an Nr. 431 und an Nr. 433 | | | | |
| SB0302 | 704322/171549 | 1 Recco an Nr. 435 | | | | |
| SB0303 | 704334/171572 | 1 Recco an Nr. 438 | | | Beweidet und geholzt. | |
| SF0101 | | | kein Recco gefunden | Keine Nummern gefunden | beweidet, viele kleine Bäume zurückgeschnitten; ACHTUNG! Alte Koordinaten sind falsch! | |
| SF0102 | 710114/169166 | 1 Recco an grossem Baum | | | beweidet; ACHTUNG! Alte Koordinaten sind falsch! | Allg: Transekt mit viel bewegtem Gestein, viel Totholz. Schwierig Bäume zu finden, manchmal auch weil kein Recco mehr vorhanden war |
| SF0103 | 710185/169148 | 2 neue Recco an Nr. 476 und Nr. 478 | Kein Recco gefunden; | | | |
| SF0104 | 710188/169164 | 1 Recco an grossen Baum | | | | |
| SF0105 | 710240/169174 | 1 Recco an Nr. 487 | | | | |
| SF0107 | schlechter GPS-Empfang | 2 Recco an grossem Baum und an Nr. 494 | | | | |
| SF0108 | 710440/169181 | 1 Recco an Nr. 497 | Kein Recco gefunden; | | | |
| SF0109 | | | Kein Recco gefunden; | Keine Nummer gefunden | | |
| SF0303 | 710459/169171 | 1 Recco an Nr. 509 | | | | |
| SF0302 | 710488/169192 | 1 Recco an Nr. 508 | | | | |
| SF0301 | 710516/169223 | 1 Recco an Nr. 504 | | | | |
| SF0201 | 710643/169221 | 1 Recco an Nr. 500 | | | | |
| SF0601 | 710269/169833 | 1 Recco an Nr. 549 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|---|---|
| SF0602 | 710290/169848 | 1 Recco an Nr. 551 | | | | |
| SF0603 | 710266/169899 | 1 Recco an Nr. 555 | | | | |
| SF0502 | 710135/169453 | 1 Recco | | | ACHTUNG! Alte Koordinaten sind falsch! | |
| SF0503 | 710184/169492 | 1 Recco an Nr. 534 | kein Recco gefunden | | | |
| SF0504 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 538 | | | | |
| SF0505 | schlechter GPS-Empfang | 2 Recco; eines davon um den Weg zu markieren, an Kante vom Kraxelfelsen; 1 Recco an Nr. 543 | | | sehr dichter Wald | |
| SF0508 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 547 | | | | |
| SF0406 | | kein Recco mehr, da keine Bäume mehr vorhanden | Recco an umgestürzten Baum gefunden | | | Photo von Gian Nr. 8378 und 8379 |
| SF0404 | | 2 Recco an Nr. 521 und Nr. 519 | | | | |
| SF0403 | 710408/169417 | 1 Recco | | | | |
| SF0402 | | | nur Standorts-Recco gefunden | Keine Nummer gefunden | viele gefegte Verjüngung, viel geschält, viele tote Bäume | 2 Temperaturmesser an einem kleinen toten Baum gefunden |
| SF0401 | | 1 Recco an Nr. 513 | | | | |
| SA0505 | | | kein Recco gefunden | Keine Nummer gefunden | relativ neuer Schlag! | |
| SA0506 | 704991/169249 | 1 Recco an Nr. 361 | | | | |
| SA0507 | | kein Recco mehr, da kein lebender Baum gefunden | kein Recco gefunden | | beweidet, Trittschäden, feucht, nur kleinstandörtlich trockener | |
| SA0508 | 705063/169125 | 1 Recco an Nr. 365 | kein Recco gefunden | | beweidet, Moor, Trittschäden | |
| SA0509 | 705120/169639 | 1 Recco an Nr. 370 | kein Recco gefunden | | | |
| DA0201 | 785513/184899 | 1 Recco an Nr. 17 | | | viele kleine Bäume tot | |
| DA0202 | 785477/184906 | nur 1 Standortsrecco | | | bewegter Schutt; einziger Baum tot | |
| DA0203 | 785521/184922 | 1 Recco an Nr. 19 | | | | |
| DA0204 | 785552/184948 | 1 Recco an Nr. 22 | | | | |
| DA0205 | 785591/184958 | 3 Recco an Nr. 23 (mit Koordinaten), Nr. 24 und Nr. 25 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|------------------------|--|---------------------|-----------------------|---|--|
| DA0206 | 785621/184996 | 2 Recco an Nr. 26 (mit Koordinaten) und Nr. 27 | | | | |
| DA0207 | 785648/185010 | 1 Recco an Nr. 30 | | | bei Lichtung oberhalb der Felswand; Achtung! Felswand wirklich steil, bei Nässe gefährlich! | |
| DA0208 | 785670/185033 | 1 Recco an Nr. 631 | | | grosse Lichtung grad oberhalb vom Wanderweg | |
| DA0209 | | | kein Recco gefunden | Keine Nummer gefunden | Moorig | |
| DA0212 | 785785/185115 | 1 Recco an Nr. 33 | | | | |
| DA0213 | 785822/185139 | 2 Recco an Nr. 34 (mit Koordinaten) und Nr. 35 | | | | |
| DA0214 | 785855/185163 | 1 Recco an Nr. 37 | | | | |
| DA0102 | 785891/184924 | 1 Recco an Nr. 2 | | | | |
| DA0101 | 785852/184893 | 1 Recco an Nr. 1 | | | | |
| DA0103 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| DA0104 | 785775/184849 | 1 Recco an Nr. 5 | | | | |
| DF0101 | 778369/180234 | 1 Recco an Nr. 156 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0102 | 778326/180248 | 1 Recco an Nr. 158 | | | | |
| DF0103 | 778284/180261 | 1 Recco an Nr. 161 | | | | |
| | | | | | | |
| DF0308 | 777955/180342 | 1 Recco an Nr. 299 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0307 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| DF0306 | 777874/180388 | 1 Recco an Nr. 293 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0305 | 777837/180428 | 1 Recco an Nr. 289 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0304 | 777794/180439 | 1 Recco an Nr. 286 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0303 | 777785/180485 | 1 Recco an Nr. 200 | kein Recco gefunden | | | |
| DB0101 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 73 | | | | |
| DB0102 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 74 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|----------------------------------|---|--|--|---|--|
| DB0103 | 784921/184331 | 1 Recco an Nr. 78 | | | beide Bäume schon fast tot. Am Waldrand (grad noch im Wald). Mehrere frisch gefallene grosse Bäume, viel Totholz, Äste, Chaos.. | |
| DB0104 | schlechter GPS-Empfang | 3 Recco an Nr. 88, Nr. 89 und Nr. 90 | | | sehr dichter dunkler Wald, viele tote kleine Bäume, viel Totholz, viel Blockschutt | |
| DB0105 | schlechter GPS-Empfang | 2 Recco an Nr. 92 und Nr. 95 | | | in Lichtung | |
| DB0106 | 784805/184749 | 2 Recco an Nr. 98 (mit Koordinaten) und Nr. 96 | | | | |
| DB0107 | schlechter GPS-Empfang | 2 Recco an Nr. 102 und Nr. 99 | | | auf Lichtung | |
| DB0309 | 784519/184983 | 2 Recco an Nr. 221 (mit Koordinaten) und Nr. 219 | | | | |
| DB0310 | 784514/184969 (Empfang schlecht) | 1 Recco an Nr. 224 | | | | |
| DB0308 | 784508/184979 | 1 Recco an Nr. 118 | | | | |
| DB0306 | 784436/184900 | 1 Recco an Nr. 961 | | | in Runse | |
| DB0305 | 784432/184880 | 2 Recco an Nr. 110 (mit Koordinaten) und Nr. 109 | | | in Runse | |
| DB0304 | 784370/184818 | 1 Recco an Nr. 104 | | | | |
| DB0303 | 784350/184807 | 1 Recco an Nr. 103 | | | | |
| DB0601 | 784415/184766 | 2 Recco an Nr. 215 (mit Koordinaten) und 214 | | | | |
| DB0602 | 784429/184811 | 1 Recco an Nr. 218 | | | | |
| DB0901 | 783971/185483 | 3 Recco an Nr. 256 (mit Koordinaten), Nr. 255 und Nr. 257 | | | | |
| DB0902 | 783952/185434 | 1 Recco an Nr. 260 | | | ACHTUNG! Alte Koordinaten stimmen nicht! | |
| DB0903 | 783941/185381 | 1 Recco an Nr. 262 | | | | |
| DB0504 | 783707/185108 | 2 Recco an Nr. 207 (mit Koordinaten) und Nr. 638 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|--|--|
| DB0503 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 204 | | | | |
| DB0501 | 783643/185006 | 1 Recco an Nr. 201 | | | | |
| DB0502 | | | nur Standortsrecco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| DB0404 | 783575/185003 | 1 Recco an Nr. 102 | | | | |
| DE0104 | 780868/180872 | 1 Recco an Nr. 963 | | | am Waldrand grad beim Hüttli; zwischen Hüttli und Waldrand in Riedwiese | |
| DE0103 | 780835/180386 | 1 Recco an Nr. 233 | | | grad noch ausserhalb vom Wald, am Waldrand | |
| DE0102 | | | | | grosser Holzschlag, nichts gefunden; Holzschlag vermutlich im Winter 2011/2012, viele Asthaufen, wenig Bodenvegetation | |
| DE0101 | | | | | grosser Holzschlag, nichts gefunden; Holzschlag vermutlich im Winter 2011/2012, viele Asthaufen, wenig Bodenvegetation | |
| DE0201 | 781027/181118 | 1 Recco an Nr. 244 | | | | |
| DE0202 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 248 | kein Recco gefunden | | | |
| DE0203 | schlechter GPS-Empfang | 2 Recco an Nr. 252 und Nr. 250 | kein Recco gefunden | | | |
| DE0204 | 780913/181179 | 1 Recco an Nr. 264 | | | | |
| DE0205 | 780862/181208 | 1 Recco an Nr. 268 | | | | |
| DE0206 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | grad überhalb von Strasse | |
| DE0207 | 780784/181257 | 2 Recco an Nr. 278 (mit Koordinaten) und Nr. 279 | kein Recco gefunden | | grad unterhalb von Strasse | |
| DE0208 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | in mitten von grossem Verjüngungsfeld (wir haben lange gesucht!) | |

| | | | | | | |
|--------|------------------------|--|---------------------|-------------------------|---|--|
| DE0209 | schlechter GPS-Empfang | nur 1 Standortsrecco, da keine lebenden Bäume mehr gefunden; Recco an grosser Fichte mit mehreren Stämmen, zwieselig | | 2 Nummern lose am Boden | | |
| DE0210 | 780670/181348 | 1 Recco an Nr. 130 | | | | |
| DE0211 | 780619/181338 | 1 Recco an Nr. 133 | | | | |
| DE0303 | schlechter GPS-Empfang | 1 Recco an Nr. 140 | | | | |
| DE0304 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | im dichten dunklen Wald, sehr dicht!, viele mittelgrosse Fichten; grosse Verjüngung bis kleines Stangenholz | |
| DE0302 | 780760/181363 | 1 Recco an Nr. 137 | | | | |
| DE0301 | 780800/181343 | 1 Recco an Nr. 136 | | | | |
| DE0402 | 780973/181942 | 1 Recco an Nr. 155 | | | | |
| DE0401 | 780944/181977 | 2 Recco an Nr. 150 (mit Koordinaten) und Nr. 148 | kein Recco gefunden | | im Verjüngungsdickicht; sehr schwierig Nummer zu finden! | |
| DA0410 | 785630/185627 | 2 Recco an Nr. 67 (mit Koordinaten) und Nr. 66 | | | beweidet (Kühe) | |
| DA0411 | 785653/185636 | 1 Recco an Nr. 639 | | | Temperaturlogger im Baum eingewachsen, bereits überwallt (siehe Photo), beweidet | |
| DA0412 | 785651/185678 | 1 Recco an Nr. 70 | | | beweidet | |
| DA0408 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | im Felswändli; wir haben lange gesucht! | |
| DA0407 | 785506/185567 | 1 Recco an Nr. 64 | | | in bewegtem Geröll/Schutt | |
| DA0406 | 785477/185548 | 3 Recco an Nr. 60 (mit Koordinaten), Nr. 58 und Nr. 59 | | | im Geröll, bemoost | |
| DA0405 | 785444/185532 | 1 Recco an Nr. 56 | | | im Geröll, bemoost | |
| DA0404 | 785413/185499 | 3 Recco an Nr. 55 (mit Koordinaten), Nr. 52 und Nr. 54 | | | | |
| DA0403 | 785363/185476 | 1 Recco an Nr. 49 | | | | |

| | | | | | | |
|--------|---------------|--|---------------------|-----------------------|---|--|
| DA0402 | 785324/185458 | 1 Recco an Nr. 47 | | | mitten im Holzschlag! In Seillinie, grossräumig alles geschlagen. Recco und Nummer an Bäumchen gelassen aber wahrscheinlich nach dem Räumen beschädigt oder weg! Keine Aussagen über Umweltbedingungen möglich, da jetzt plötzlich in vollem Licht. | |
| DA0401 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | mitten im Holzschlag! In Seillinie, grossräumig alles geschlagen. | |
| DF0201 | 777722/180664 | 1 Recco an Nr. 167 | kein Recco gefunden | | an Waldgrenze, beweidet (Kühe) | Ganzer Transekt ohne ein einziges Recco! Sehr viel schwieriger die Punkte zu finden! |
| DF0202 | 777751/180616 | 1 Recco an Nr. 172 | kein Recco gefunden | | grad unterhalb vom Wanderweg | |
| DF0203 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| DF0204 | 777844/180586 | 1 Recco an Nr. 176 | kein Recco gefunden | | Adresstäfeli an einem anderen Baum gefunden, aber ohne (Standorts)recco. (sonst immer noch ein Recco zum Adresstäfeli) | |
| DF0205 | 777883/180551 | 1 Recco an Nr. 179 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0206 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| DF0207 | 777950/180508 | 1 Recco an Nr. 182 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0208 | 778010/180462 | 1 Recco an Nr. 187 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0209 | 778028/180455 | 2 Recco an Nr. 188 (mit Koordinaten) und Nr. 189 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0210 | 778067/180441 | 1 Recco an Nr. 193 | kein Recco gefunden | | | |

| | | | | | | |
|--------|---------------|--|---------------------|-----------------------|--|--|
| DF0401 | 778129/180648 | 1 Recco an Nr. 301 | kein Recco gefunden | | | Ganzer Transekt ohne ein einziges Recco! Sehr viel schwieriger die Punkte zu finden! |
| DF0402 | 778166/180638 | 1 Recco an Nr. 305 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0403 | 778219/180621 | 1 Recco an Nr. 307 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0404 | 778253/180600 | 2 Recco an Nr. 311 (mit Koordinaten) und Nr. 310 | kein Recco gefunden | | | |
| DF0406 | 778353/180565 | 1 Recco an Nr. 313 | kein Recco gefunden | | | |
| DA0301 | 785558/185411 | 2 Recco an Nr. 81 (mit Koordinaten) und Nr. 83 | | | | |
| DA0302 | 785584/185420 | 1 Recco an Nr. 85 | | | | |
| DA0105 | 785723/184829 | 1 Recco an Nr. 8 | | | | |
| DA0106 | 785691/184812 | 2 Recco an Nr. 965 (mit Koordinaten) und Nr. 11 | | | | |
| DA0107 | 785652/184788 | 3 Recco an Nr. 15 (mit Koordinaten), Nr. 13 und Nr. 14 | | | Temperaturlogger lose am Boden gefunden | |
| SH0401 | 707395/168710 | 1 Recco an Nr. 608 | | | grad oberhalb Häuser | |
| SH0402 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | | |
| SH0103 | 706935/168514 | 2 Recco an Nr. 586 (mit Koordinaten) und Nr. 587 | | | zum Teil (586) beweidet (Kühe) | |
| SH0102 | 706895/168506 | 1 Recco an Nr. 585 | | | beweidet (Kühe) | |
| SH0101 | | | kein Recco gefunden | keine Nummer gefunden | mitten in Wiese, beweidet (Kühe), weiträumig alle Verjüngung abgesucht | |
| SH0301 | 707540/168861 | 1 Recco an Nr. 591 | | | grad neben Wanderweg | |
| SH0302 | 707585/168868 | 1 Recco an Nr. 593 | | | | |
| SH0303 | 707622/168887 | 1 Recco an Nr. 600 | | | | |
| SH0304 | | | kein Recco gefunden | Keine Nummer gefunden | grossräumig alles abgesucht! | |

A 10: Adressen

Die Adresse von Toni Cathomas, er hat freundlicherweise den Recco-Detektor zur Verfügung gestellt:

Sedrun Bergbahnen AG
7189 Rueras
Tel. 081 920 40 90
info@sedrunbergbahnen.ch

Toni Cathomas
Leiter Technische Dienste
Tel. 079 610 48 75
toni.cathomas@sedrunbergbahnen.ch

Die Adresse von Othmar Ehrenzeller, von ihm wurden die zwei Mountainbikes gemietet:

Othmar Ehrenzeller
Ehrenzeller Velos Motos
Grünaustrasse 22
9470 Buchs
Tel. 081 756 12 35

Die Adresse vom zuständigen Förster in Sedrun

Adrian Deragisch
Revierförster
Via Alpsu 62
7188 Sedrun
Tel. 081 936 54 15
uffeci.forestal@tujetsch.ch

Die Adresse vom zuständigen Förster in Davos

Gemeinde Davos
Forstbetrieb
Berglistutz 1,
7270 Davos Platz
Tel. +41 (0)81 414 31 60
forstbetrieb@davos.gr.ch

Die Adresse vom zuständigen Wildhüter in Sedrun

Gabriel Monn
Zuständiger Wildhüter Jagdbezirk Sedrun
Tel. 081 949 10 85

Die Adresse vom zuständigen Wildhüter in Davos

Andrea Ambühl
Zuständiger Wildhüter Jagdbezirk Davos Frauenkirch
Tel. 081 413 27 67
Mob. 078 764 09 00

Thomas Fankhauser

Zuständiger Wildhüter Jagdbezirk Davos Platz

Tel. 071 722 66 38

Mob. 076 318 86 74

Die Adresse des akademischen Mitarbeiters der Wildbiologie und Jagd vom Amt für Jagd und Fischerei vom Kanton Graubünden

Hannes Jenny

Tel. 081 257 38 93

Die Adresse der Ferienwohnung in Sedrun

Marcel Murri

Via Curtin Niregl 22

7188 Tujetsch

Die Adresse der Ferienwohnung in Davos

Rudolf Bosshard

Green Nr. 33

Riedstrasse 12

7270 Davos Platz

Destination Davos Klosters

Tourismus- und Sportzentrum

Talstrasse 41

7270 Davos

Tel. +41 (0)81 415 21 21

info@davos.ch